

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN PARA TITULACIÓN
PROFESIONAL DEL INGENIERO GEOLÓGO - PATIG

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACION DE
LA LINEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA ANAMINA,
DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE
ANCASH”**

Presentado por:

BR. HELMER AUGUSTO PINEDO RIVERA

PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLÓGO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN/SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

**APROVECHAMIENTO Y GESTION SOSTENIBLE DEL AMBIENTE Y
LOS RECURSOS NATURALES/APROVECHAMIENTO Y CONSERVACION DE
LOS RECURSOS NATURALES**

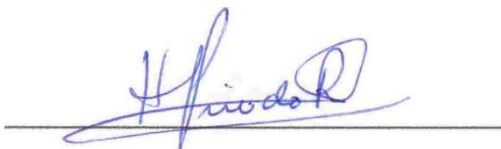
PIURA – PERÚ

2019

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

TITULO:

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA
REUBICACION DE LA LINEA DE DESCARGA NORTE
DE LA MINA ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS,
PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



**Br. HELMER AUGUSTO PINEDO RIVERA
EJECUTOR**



**INGENIERO HIPOLITO TUME CHAPA – CIP N° 17604
ASESOR**

PIURA – PERÚ

DECLARACION JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo: Helmer Augusto Pinedo Rivera, identificado con DNI N° 44655621, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, de la Facultad de Ingeniería de Minas y Domiciliado en calle Benjamín Cisneros 114 Interior 302 Torres de San Borja, Distrito de San Borja, Provincia de Lima, Departamento de Lima, Celular: 976427900, Email: agosto_rivera28@hotmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N°411, del código Penal concordante con el Art. 32 de la ley N° 27444, y la Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos del Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, Agosto del 2019



Helmer Augusto Pinedo Rivera

DNI N° 44655621

Artículo 411.-El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con los hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por la ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art.4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016 – SUNEDU/CD.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
DECANATO

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado Calificador nombrados mediante Resolución N° 422-CF-2019, de fecha trece de mayo de dos mil diecinueve, que suscriben, reunidos el día jueves veinticinco de julio de dos mil diecinueve, a horas 12:00 m., en la Sala de Conferencias - FIM, para la sustentación del Trabajo de Investigación a través del Programa de Actualización para Titulación Profesional del Ingeniero Geólogo-PATPIG, titulado **"ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI DPTO. DE ANCASH"**, conducido por el señor Bachiller en Ingeniería Geológica **PINEDO RIVERA HELMER AUGUSTO**, el mismo que cuenta con el asesoramiento del Dr. Ing° Hipólito Tume Chapa. Efectuadas las observaciones y dadas las respuestas, lo declaran:

DESAPROBADO	A P R O B A D O			
	Bueno	Muy Bueno	Sobresaliente	Excelente
	-----	----- X	-----	-----

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** y solicitar al Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, le otorgue el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO**, de conformidad con lo estipulado en las normas legales vigentes de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 25 de julio de 2019.

DR. ING° JUAN F. MOREANO SEGOVIA
Presidente del jurado calificador

ING° WALTER UMERES RIVEROS M.Sc.
Secretario del jurado calificador

ING° JOSE COBENA URBINA
Vocal del Jurado Calificador.

YMN.

DEDICATORIA

A mi familia, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo
buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Geológica por sus enseñanzas y conocimientos transmitidos a lo largo de la carrera profesional, lo cual permitió desarrollare satisfactoriamente en el ámbito laboral.

Índice

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCION.....	3
CAPITULO I.....	4
ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA	4
1.1 Descripción de la realidad problemática.	4
1.2 Justificación e importancia de la investigación	5
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Delimitación de la investigación	6
CAPITULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1 Antecedentes internacionales:	7
2.1.2 Antecedentes Nacionales:	8
2.2 Bases teóricas.....	12
2.3 Glosario de términos básicos	21
2.4 Hipótesis.....	24
2.4.1 Hipótesis General.....	24
2.4.2 Hipótesis Específicas	25
2.5 Definición y operacionalización de variables	25
2.5.1 Identificación de variables:	25
2.5.2 Operación de variables:	25
CAPITULO III.....	26
MARCO METODOLÓGICO	26
3.1 Enfoque y diseño.....	26
3.1.1 Enfoque cuantitativo:	26
3.1.2 Diseño:	27
3.2 Sujeto de investigación	27
3.2.1 Población de estudio	28
3.2.2 Selección de muestras	28
3.3 Métodos y procedimientos	28
3.3.1 Etapa preliminar de gabinete:	28
3.3.2 Etapa de campo:	29
3.3.3 Etapa de laboratorio:	31
3.3.4 Etapa de gabinete:	32
3.3.5 Etapa final:	32
3.4 Técnicas e instrumentos	33
3.4.1 Técnicas	33
3.4.2 Instrumentos y equipos:	33
CAPITULO IV	36
RESULTADOS	36

4.1 Evaluación Geológica.....	36
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA	37
4.1.1 Geología regional	37
4.1.2 Geología Local	46
4.2 Evaluación Geotécnica.....	53
4.2.1 Investigaciones Geotécnicas	53
4.2.2 Ensayo de densidad.....	55
4.2.3 Ensayo de Penetración Dinámica - DPL.....	56
4.2.3 Calicatas y trincheras	58
4.3 Prospecciones Geofísicas.....	62
4.3.1 Perfil sísmico	64
4.3.2 Ripabilidad.....	64
4.4 Evaluación Geomecánica.....	65
4.4.1 Estaciones Geomecánicas.....	65
4.4.2 Macizo rocoso de cimentación	66
4.5 Análisis de estabilidad.....	74
4.5.1 Criterio de Diseño.....	74
4.5.2 Metodología.....	77
4.5.3 Resultados de análisis de estabilidad	81
4.6 Diseño Geotécnico de la Cimentación	82
4.6.1 Profundidad de cimentación.....	82
4.6.2 Parámetros de resistencia	83
4.6.3 Capacidad de carga de la fundación.....	85
4.5.4. Asentamiento	90
4.7 Caracterización Química	91
CONCLUSIONES.....	94
RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA.....	98
ANEXOS.....	100

Índice de Tablas

Tabla 1 Ubicación de calicatas.....	54
Tabla 2 Ubicación de trincheras.....	55
Tabla 3 Ensayos de Densidad In Situ Ejecutados	55
Tabla 4 Ensayo de Penetración Dinámica Ligera - DPL.....	56
Tabla 5 Ensayos de Suelos.....	57
Tabla 6 Ensayo de Rocas	58
Tabla 7 Ensayos de Refracción Sísmica Ejecutados.....	63
Tabla 8 Perfil Sísmico LS-1	64
Tabla 9 Estaciones Geomecánicas Evaluadas	66
Tabla 10 Estaciones Geomecánicas Evaluadas	67
Tabla 11 Parámetros de Clasificación	68
Tabla 12 Clasificación de RMR	69
Tabla 13 Índices de calidad y dominio estructural de Estaciones Geomecánicas	71
Tabla 14 Parámetros Geomecánicos en Estaciones	74
Tabla 15 Resumen de Criterios de Diseño	76
Tabla 16 Cuadro de Secciones	78
Tabla 17 Propiedades de los materiales usados en los modelos de estabilidad	80
Tabla 18 Resultados del Análisis de Estabilidad en su estado inicial.....	81
Tabla 19 Resultados del Análisis de Estabilidad en su estado proyectado.....	82
Tabla 20 Cuadro de Profundidad de Cimentación	83
Tabla 21 Propiedades de los materiales usados en los cálculos de capacidad de carga.....	84
Tabla 22 Resumen del cálculo de Capacidad de Carga.....	89
Tabla 23 Resumen del Cálculo de Asentamientos.	91
Tabla 24 Resultado de los ensayos químicos.....	92
Tabla 25 Resultados del conteo ácido-base de muestras obtenidas.	93
Tabla 26 Resultados de capacidad de carga y asentamiento.	94

Índice de Gráficos

Ilustración 1 Fisiografía regional de Antamina	38
Ilustración 2 Columna Estratigráfica Regional del Área de Estudio y Alrededores.	41
Ilustración 3 Geología Regional del Yacimiento Antamina.	42
Ilustración 4 Rasgos Estructurales del Área de estudio y alrededores.....	44
Ilustración 5 Esquema de Alteraciones de Antamina.....	45
Ilustración 6 Esquema de Alteraciones en sección de Antamina.	45
Ilustración 7 Esquema Litológico y Zoneamiento de Antamina.	47
Ilustración 8 Esquema Litológico y Zoneamiento de Antamina.	47
Ilustración 9 Afloramiento de Caliza Nodular Moderadamente Fracturada.	49
Ilustración 10 Vista de depósitos fluvioglaciares y morrenas.	50
Ilustración 11 Vista de los depósitos antrópicos en el área de estudios.....	50
Ilustración 12 Vista de Lomas y Colinas de Laderas suaves a empinadas.	52
Ilustración 13 Vista de escarpas en colinas a lo largo de la Línea de Descarga Norte (Caliza)	52
Ilustración 14 Clasificación de ripabilidad (Weaver)	65
Ilustración 15 Clasificación de Macizo Rocoso - GSI.....	70

RESUMEN

En la presente investigación titulada “Estudio geológico geotécnico para la reubicación de la línea de descarga Norte de la Mina Antamina, distrito de San Marcos, Provincia de Huari, Ancash”. Tiene como objetivo general realizar una evaluación geológica geotécnica que permitan definir dentro de un rango razonable la cimentación adecuada para el nuevo trazo de la línea de descarga norte y plantear alternativas de solución a nivel de ingeniería básica. Como variable independiente se definió: la evaluación geológica y geotécnica del área de estudio que incluye evaluación Geomecánica, también se realizó una línea de prospección geofísica. Como variable dependiente se definió: el análisis de la estabilidad y el diseño geotécnico de la cimentación. Para el desarrollo de la presente investigación se consideró un enfoque cuantitativo y se eligió un diseño experimental, el cual permitió comprobar la validez de la hipótesis propuesta. La población de estudio es el área definida para el nuevo trazo de la línea de descarga norte de la mina Antamina, donde se realizaron 18 calicatas y 02 trincheras y se seleccionaron muestras de suelos de las calicatas y trincheras que fueron llevadas al laboratorio de Mecánica de Suelos. En base a los resultados obtenidos de la presente investigación en los cálculos de capacidad de carga y asentamiento, se concluye que en todos los casos estos valores están dentro de los valores admisibles según se recomienda en la Norma Técnica Peruana E-050 de Suelos y Cimentaciones. Para el diseño del concreto se recomienda el uso de cemento Portland tipo I, así como mantener una relación agua cemento máximo de $a/c = 0.5$.

Palabras claves: investigaciones geológicas, geotécnicas, análisis de estabilidad, diseño de la cimentación.

ABSTRACT

In the present research entitled: “Geotechnical Geological study for the relocation of the North Discharge pipe of the Antamina mine, San Marco District, Province of Huari, Ancash”. Its general objective is to carry out a geotechnical geological evaluation that allow to define within a reasonable range the foundation suitable for the new north Discharge pipe and to propose alternatives of solution at the level of basic engineering.

As an independent variable was defined: the geological and geotechnical evaluation of the study area, that includes Geomechanical evaluation, also, a line geophysical prospection line was made. As a dependent variable was defined: the analysis of the stability and geotechnical design of the foundation.

For the development of this present research, a quantitative approach was considered and an experimental design was chosen, which allows to check the validity of the proposed hypothesis. The study population is the area defined for the new trace of the northern discharge pipe of the Antamina mine. 18 trial pits and 02 trenches were made and soil samples were selected from the trial pits and trenches that were taken to the Soil Mechanics Laboratory.

Bases on the results obtained from this research in the calculations of load capacity and settlement, it is concluded that in all cases these values are within the permissible values as recommended in the Peruvian Technical Standard. E-050 of Soil and Foundations. For the design of the concrete is recommended the use of Portland cement type I, as well as maintaining a ratio water maximum cement of the $a/c = 0.5$.

Key words: Geological research, geotechnics, stability analysis, foundation design.

INTRODUCCION

Investigar significa también consolidar competencias para la vida, la investigación es una oportunidad de crecimiento personal si se ponen metas y se toman decisiones al respecto, lo cual constituye un valor agregado en la formación individual. Cuando se investiga pensando en el futuro, la motivación va más allá de la obtención de un grado, implica aplicar lo aprendido, conocer un tema en toda su complejidad teórica y proponer líneas de trabajo y desarrollo.

Para la realización del presente estudio se tiene como metas evaluar los aspectos geológicos – geotécnico para realizar el diseño geotécnico de la cimentación y la estabilidad física del terreno que involucra la reubicación de la línea de Descarga Norte de la mina Antamina.

Los estudios de exploración del subsuelo deben realizarse antes del desarrollo de un proyecto, ya que de los resultados obtenidos y la interpretación de las características y comportamiento dependerán las decisiones que se tomen para la realización del diseño geotécnico y estructural, así como para la determinación del procedimiento constructivo. Un estudio geotécnico deficiente provocara que las actividades siguientes no se desarrollen adecuadamente, generando modificaciones durante la construcción, las cuales están en función de la inexactitud de la información obtenida.

Finalmente, el autor consultó información metodológica de la obra “Como elaborar una tesis de grado” por Lydia Arbayza Fermini, Perú, 2016.

CAPITULO I

ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 Descripción de la realidad problemática.

Tras cumplir más de 17 años de su puesta en operación, Antamina se alista para explotar dos fases más de su veta principal, dedicada a la extracción de zinc y cobre principalmente. La meta es que ambas empiecen a aportar mineral a partir del 2018 y 2019.

De acuerdo a la Modificación del EIA del proyecto Minero Antamina por incremento de reservas y optimización del Plan de Minado, se proyecta elevar la corona de la presa de relaves en su tercera etapa, a fin de contener no solo los relaves del proceso de producción de minerales sino también la máxima precipitación probable, manteniendo un borde mínimo de 2 metros. La nueva elevación comprenderá desde la fase 6 hasta la fase 8 con recrecimiento de presa. Los sistemas de colectores de infiltración/percolación, escorrentías y descarga Norte - Sur serán reubicados y ampliados, además se construirá un vertedero en el estribo izquierdo de la presa de relaves para la etapa de cierre.

Estas modificaciones requieren estudios previos que brinden información necesaria para la ingeniería de detalle del diseño de estas nuevas estructuras que garanticen la estabilidad de las mismas.

Considerando esta situación, se formula la interrogante de la presente investigación:

¿Conocer mediante el estudio de investigaciones geológicas y geotécnicas los parámetros del material del área de estudio necesarios para reubicar el nuevo trazo de la línea de descarga norte, de la Mina Antamina?

1.2 Justificación e importancia de la investigación

En la justificación del problema se expone la razón de ser del estudio, mediante argumentos que explican para qué se realiza y por qué es importante hacerlo. (Arbaiza, 2013)

El estudio del problema propuesto es conveniente hacerlo ya que proporcionará información necesaria para los ingenieros especialistas en cimentaciones de estructuras para que realicen obras de cimentación con mayor estabilidad y seguridad.

Forma parte del plan estratégico de Antamina para aumentar las reservas y aportar mineral garantizando una mayor producción de Zinc y Cu para abastecer los mercados internacionales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar una evaluación geológica - geotécnica que permitan definir una cimentación adecuada y estabilidad física sobre el nuevo trazo de la Línea de Descarga Norte.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización de la geología local y regional.
- Ejecutar prospecciones geotécnicas, ensayos in situ y ensayos de laboratorio.
- Evaluar estaciones Geomecánicas.

- Ejecutar e interpretar prospecciones geofísicas.
- Determinar la capacidad admisible en suelo y roca.
- Analizar la estabilidad física del nuevo trazo de la línea de descarga.
- Realizar el diseño de cimentaciones de las estructuras proyectadas.
- Analizar la agresividad química del material de fundación.

1.4 Delimitación de la investigación

El área de estudio se encuentra ubicado en la Cordillera Occidental de los Andes en la quebrada de Antamina, Distrito de San Marcos, Provincia de Huari, Región Ancash, a unos 270 km en línea recta al Noreste de Lima. Las coordenadas UTM del centro del yacimiento son: 8'945,500N y 274,900E.

La altitud de la operación está entre los 4000 a 4700 msnm. El relieve es relativamente abrupto con zonas rocosas escarpadas (picos), dicha topografía complica la instalación de infraestructura complementaria a la operación (campamentos, talleres, presas, etc.). El clima de la zona es muy frío llegando a temperatura promedio de 10° a 5°C y mínimas por debajo de 0°C.

Se estableció un cronograma de actividades para la ejecución de la presente investigación, cuya elaboración tomo aproximadamente 49 días (ver Anexo A).

En el Anexo B se presenta un esquema de los costos y el presupuesto del proyecto.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

En la actualidad la mayoría de los especialistas recomiendan la ejecución de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir una cimentación estable y segura. Sin embargo, en la actualidad numerosos especialistas encargados de proyecto de cimentaciones de estructuras no cumplen estas recomendaciones, efectuando muchas veces solo las investigaciones de manera incompleta y confusa, desconociendo la importancia de estas.

Como antecedentes de estudios que contiene información geológica geotécnica que tiene relación con el objetivo del proyecto, se tiene numerosos estudios que se han realizado en épocas anteriores, de las cuales podemos señalar las siguientes:

2.1.1 Antecedentes internacionales:

- (Rojas, 2016). “Estudio geológico – geotécnico para la cimentación del puente sobre la quebrada Tungani en la vía Carimanga – Lucero – Río Pindo (KM 27+100) En la parroquia El Lucero canto Calvas Provincia de Loja - Ecuador”

El estudio fue realizado con el fin de conocer las condiciones de cimentación óptimas para un puente, temporal tipo Bailey que debe ser reemplazado por uno definitivo.

Esta investigación fue planificada y ejecutada cubriendo una zona de 200 metros a cada lado del puente actual en dirección longitudinal (correspondiente al eje de la carretera) y en

dirección transversal, mediante la realización de trabajos como: levantamiento topográfico, estudio geológico, estudio geotécnico, estudio geomorfológico de superficie.

El objetivo de la presente investigación pretende determinar el comportamiento físico-mecánico de los materiales de la zona de estudio, a través de ensayos in situ y ensayos de laboratorio y proponer condiciones óptimas de cimentación de la zona de estudio.

2.1.2 Antecedentes Nacionales:

- (Huamán, 2017). En la tesis denominada: “Geotécnia de inestabilidad de taludes, en el tramo de la carretera Huañimba – Cungunday, Cajamarca, Cajabamba”. Universidad Nacional de Cajamarca.

La presente investigación se centra en la evaluación geotécnica de las zonas críticas en el tramo de la carretera Huañimba – Cungunday, ubicada al norte de la ciudad de Cajabamba, las cuales se ve afectadas por el inadecuado manejo de los taludes, precipitaciones y transitabilidad, la zona de estudio consta de una litología heterogénea, perteneciente al Cretácico superior, conformadas por las formaciones Cajabamba y Condebamba, las cuales son propensas a un fuerte proceso de erosión y meteorización generando inestabilidad en los taludes.

Además se describe diferentes etapas de la investigación, desde la recopilación de información, toma de datos de campo y por ultimo elaboración de informe y planos, también se tomaron muestras para su posterior análisis en el laboratorio de mecánica de suelos, generando la base de datos para la aplicación del software Slide, determinando el factor de seguridad de cada uno de los taludes evaluados, con los resultados obtenidos se procedió a la digitalización de los planos geotécnicos de la zona de investigación.

Se concluye que las características geotécnicas de los taludes en el tramo de la carretera Huañimba – Cungunday, Cajabamba, está relacionada con las características litológicas, morfoestructurales y con el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos y son afectadas por las variables como la precipitación, infiltración y la sismicidad producida por los vehículos, lo cual provoca la inestabilidad de los taludes. Finalmente se realizó una zonificación de los taludes más inestables para la mitigación de riesgos geotécnicos.

- (Sallago, 2010). “Estudio geológico y geotécnico para la estabilidad de las torres de alta tensión entre las subestaciones Huallanca – Quitarasca, Provincia de Huaylas - Departamento de Ancash”. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Informe de competencia profesional, que tiene la finalidad de determinar las condiciones geológicas y geotécnicas de la línea de transmisión desde la subestación Huallanca hasta la futura Subestación Quitarasca, a fin de determinar e identificar la presencia de procesos geológicos activos, procesos de geodinámica externa, que pueden afectar a las obras proyectadas para la cimentación de las estructuras de soporte de la línea de alta tensión eléctrica y subestaciones.

Fue indispensable evaluar las características geológico-geotécnicas de superficie y del subsuelo a lo largo del trazo topográfico. Se desarrollaron investigaciones en campo, las que consistieron en excavación de calicatas, donde se ubican las subestaciones, vértices y probables sitios donde se ubicaran las torres intermedias, de las que se recolectaron muestras representativas de suelos que fueron remitidas al laboratorio de mecánica de suelos para su respectivo análisis, necesarios para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes tipos de suelos/rocas que conforman la zona de estudio.

- (Suyo, 2017). “Modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras de líneas de transmisión eléctrica”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Tesis de Posgrado, Lima, Perú.

La presente investigación busca establecer un modelo y una metodología general de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras de líneas de transmisión de energía eléctrica. Además, debe existir una buena correlación entre ellas para lograr una cimentación segura y estable.

Sin embargo, en la práctica muchos estudios de cimentación para las torres y postes de las líneas de transmisión no se han venido haciendo en forma adecuada, tal es así que con el afán de reducir costos de los estudios algunas veces solo realizan estudios geotécnicos en forma cuidadosa y los estudios geológicos en forma descuidada (incompleta o confusa). La falta de estudios geológicos adecuados puede atentar con el correcto desarrollo de los estudios geotécnicos y a la larga atentar contra la estabilidad y seguridad de las obras.

El método de trabajo e investigación se ha hecho teniendo en cuenta las investigaciones exploratorias y descriptivas con un enfoque cuantitativo, esta se aplicó al ejemplo del estudio hecho en “Geología y Geotecnia de la línea de transmisión 66 kV S.E. Huancarama- S.E. Chipmo -S.E. Pracota” Situada en la localidad minera de Orcopampa, Arequipa. Es una línea aproximada de 30 kms que se desarrolla entre los 4000 y 5000 m.s.n.m.

Finalmente se concluyó que se deben realizar investigaciones geológicas y geotécnicas sin prescindir ninguna de ellas. Las investigaciones geológicas deben contener estudios de gabinete y de campo. Las investigaciones geotécnicas cuando las condiciones son normales se

harán investigaciones de gabinete, de campo y laboratorio. En situaciones especiales como la presencia de suelos difíciles deben efectuarse investigaciones adicionales.

- (Golder Associates, 2015). Ingeniería Básica y Detalle del Sistema de Bombeo de Relaves, Línea Norte y Sur – Elevación 4165. Lima, Perú.

Compañía minera Antamina solicitó a Golder Associates Perú el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle del Sistema de Bombeo de Relaves de Línea Norte y Sur – Elevación 4165. En la mina Antamina a 420 km al noreste de Lima, aproximadamente a 4200 m.s.n.m.

En la actualidad, Antamina cuenta con un sistema de transporte de relaves por gravedad constituido por una serie de cajones que transportan el relave tanto al lado norte, como al lado sur del depósito. Debido al crecimiento del nivel de los relaves, el sistema actual no podrá seguir depositando los relaves por gravedad, motivo por el cual se desarrollará un nuevo sistema de transporte que lleve los relaves a una cota superior al sistema existente

El trabajo que se describe en los siguientes puntos comprende las actividades necesarias para desarrollar completamente la construcción del proyecto, en base a los planos topográficos y el suministro de equipos por parte de Antamina.

El alcance de este informe corresponde a las obras civiles, mecánicas, tuberías, eléctricas y de instrumentación requeridas para la realización del proyecto. Cuya ejecución debe cumplir los requerimientos establecidos por las leyes, ordenanzas y regulaciones peruanas.

Las principales estructuras y equipos de este proyecto incluyen un sistema de captación de relaves, la estación de bombeo de relaves con un cajón de concreto de 400 m³ y ocho bombas

horizontales, el cajón distribuido de relaves, 5 km de tuberías de 54” para el lado norte y 3,6 km de tubería de 54” para el lado sur, sistema de agua de sello, entre otros.

Las tuberías a instalar serán de acero al carbono y HDPE, tanto para servicios del proceso como para servicios auxiliares. Dentro de las tuberías del proceso principal se distinguen las tuberías para conducción de relaves que serán revestidas interiormente con jebe y jebe – cerámico, cuando este aplique.

En cuanto a la instalación de los soportes, estos serán de concreto y servirán de durmientes para las tuberías de acuerdo a los planos y estándares del proyecto.

2.2 Bases teóricas

Las principales bases teóricas en que se sustenta el siguiente proyecto de investigación comprenden lo siguientes campos del conocimiento científico y técnico:

- **En el campo de los estudios geológicos:**

CONTEXTO GEOLÓGICO

Antamina, ubicado en la Región Ancash, es un depósito de tipo Skarn polimetálico, con mineralización de Cu, Zn, Cu – Mo, Ag y Bi.

El depósito formado como resultado del emplazamiento del intrusivo Antamina y otros cuerpos intrusivos en las calizas de la formación Celendín. Las calizas Celendín forman afloramiento en el valle de Antamina, presentándose en capas de 1 a 3 metros de espesor.

Geomorfológicamente el área presenta una superficie denominada Superficie Puna, que esta pobremente desarrollada, el cual forma la mayoría de los taludes entre los 3000 y 4000

m.s.n.m. A lo largo de la reubicación de la línea de descarga norte se pueden reconocer colinas, lomas y valles glaciares producto de la erosión de las mismas.

Estructuralmente no existen fallas activas que puedan afectar la estabilidad física de los cimientos.

Importancia de la Ingeniería Geológica

La necesidad de estudiar geológicamente el terreno como base de partida para los proyectos de grandes obras es indiscutible en la actualidad, y constituye una práctica obligatoria. Esta necesidad se extiende a otras obras de menor volumen, pero de gran repercusión social, como la edificación, en donde los estudios geotécnicos son igualmente obligatorios (Gonzales, 2002).

Como sabemos el medio geológico continuamente evoluciona y estos procesos afectan tanto a los materiales rocosos y a los suelos como al medio natural en su conjunto. En geología se parte de una visión espacial de los fenómenos físicos de la tierra.

La diversidad del medio geológico y la complejidad de sus procesos hacen que en las obras de ingeniería deban resolver situaciones donde los factores geológicos son condicionantes de un proyecto.

En primer lugar, por su mayor importancia, estarían los riesgos geológicos, cuya incidencia puede afectar a la seguridad o la viabilidad del proyecto. En segundo lugar, están todos aquellos factores geológicos cuya presencia inciden técnica o económicamente en la obra.

En términos generales las condiciones que debe reunir un emplazamiento para que sea geológica y geotécnicamente favorable son las siguientes:

- Ausencia de procesos geológicos activos que representan riesgos inaceptables al proyecto.
- Adecuada capacidad portante del terreno para la cimentación de estructuras.
- Suficiente resistencia de los materiales para mantener su estabilidad en excavaciones superficiales o subterráneas.
- Disponibilidad de materiales para la construcción de obras de tierra.
- Estanqueidad de las formaciones geológicas para almacenar agua o residuos sólidos o líquidos.
- Facilidad de extracción de materiales para su excavación.

Establecida la relación entre los factores geológicos y los problemas geotécnicos, y las diferencias entre condiciones geotécnicas favorables y desfavorables, resulta evidente que en todo estudio geotécnico es necesario partir del conocimiento geológico, interpretando la geología desde la ingeniería geológica, para determinar y predecir el comportamiento del terreno.

- **En el campo de los estudios geotécnicos:**

MECÁNICA DE ROCAS

La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánicos de los materiales rocosos, y de sus respuestas ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico.

La finalidad de la mecánica de rocas es conocer y predecir el comportamiento de los materiales rocosos ante la actuación de las fuerzas internas y externas que se ejercen sobre ellos.

Cuando se excava un macizo rocoso se construyen estructuras sobre las rocas se modifican las condiciones iniciales del medio rocoso, el cual responde a estos cambios deformándose y/o rompiéndose. A nivel macroscópico, las partículas minerales sufren desplazamiento y se pueden generar planos de fractura como respuesta al nuevo estado de tensiones. A nivel de macizo rocoso las deformaciones y roturas se suelen producir a favor de los planos de discontinuidad.

Macizos rocosos

Las masas rocosas se presentan en la naturaleza afectadas por una serie de planos de discontinuidad o debilidad que separan bloques de matriz rocosa, formando los macizos rocosos. Para el estudio del comportamiento mecánico del macizo rocoso deben estudiarse las propiedades tanto de la matriz como de las discontinuidades.

Las clasificaciones geomecánica más utilizada en la actualidad son la RMR y la clasificación Q. La primera se emplea tanto para la caracterización de los macizos rocosos y sus propiedades como para su aplicación en túneles. La clasificación Q se emplea casi exclusivamente para túneles.

Clasificación RMR

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturamiento en términos del RQD.

- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR (Rock Mass Rating), que varía de 0 a 100.

Para aplicar la clasificación RMR se divide el macizo rocoso en zonas o tramos que presenten características geológicas más o menos uniformes de acuerdo con las observaciones hechas en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos y medidas referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Los análisis de estabilidad se aplican al diseño de taludes o cuando estos presentan problemas de inestabilidad. Se debe elegir un coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costos de ejecución, consecuencias o riesgos que podrían generar su rotura. Para taludes permanentes, el coeficiente de seguridad a adoptar debe ser igual o superior a 1.5, e incluso 2.0, dependiendo de la seguridad exigida y de la confianza que se tenga en los datos geotécnicos que intervienen en los cálculos; para taludes temporales el factor de seguridad está en torno a 1.3, pero en ocasiones pueden adoptarse valores inferiores.

El análisis de los movimientos de los taludes o laderas durante muchos años se ha realizado utilizando las técnicas del equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no se requiere sobre la relación esfuerzo-deformación.

El sistema de equilibrio límite supone que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0.

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. (Suarez, 1998)

Concepto de Factor de Seguridad (F. S.)

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}}$$

En las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F.S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}}$$

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

La Geofísica, es una de las ramas de la física aplicada que se ocupa del estudio de las estructuras ocultas del interior de la tierra y de la localización en ésta de cuerpos delimitados por el contraste de alguna de sus propiedades físicas con las del medio circundante, por medio de observaciones realizadas en la superficie de la tierra.

Dentro de la diversidad de técnicas prospectivas se destacan cuatro grupos principales, que suelen denominarse “métodos mayores” y son: Gravimétrico, Magnético, Eléctrico y Sísmico.

Los dos primeros son métodos del campo natural y los dos restantes del campo artificial. Es decir que, en los métodos gravimétricos y magnéticos, se estudian las perturbaciones que determinadas estructuras o cuerpos producen sobre campos preexistentes, que son el de la gravedad terrestre y el geomagnético; mientras que en el eléctrico y sísmico es el propio prospector el que crea el campo físico que va a estudiar, lo que representa la gran ventaja de que puede darle las características más adecuadas para el fin propuesto.

Método Geoelectrico

Existen muchas modalidades en los métodos de exploración eléctrica del subsuelo, cada una de ellas con su propio campo de aplicación, sus ventajas y defectos. Los métodos geoelectricos más importantes y difundidos son:

- Métodos de campo natural (potencial espontáneo, corrientes telúricas, etc.)
- Métodos de campo artificial, ya sea constante (cuerpo cargado, sondeos eléctricos, calicatas, etc.) o variable (sondeos de frecuencia, transitorios, etc.) y polarización inducida.

Resistividad de los Materiales Naturales

La resistividad de los materiales naturales varía desde 10^{-8} en los metales nativos hasta 10^{-15} en micas (perpendicularmente a la foliación).

Los valores de resistividad en una roca están determinados más que por su composición mineralógica, por el agua que contienen, fundamentalmente por la porosidad y por la salinidad del agua (más salinidad implica mayor conductividad).

Todo esto hace que la resistividad de cada tipo de roca presente una gran variabilidad. En general, en el campo encontraremos valores de este orden:

- Rocas ígneas y metamórficas inalteradas: $>1000 \Omega m$
- Rocas ígneas y metamórficas alteradas o fuertemente diaclasadas: 100 a $1000 \Omega m$
- Calizas y areniscas: 100 a más de $1000 \Omega m$
- Arcillas: 1 a $10 \Omega m$
- Limos: 0 a $100 \Omega m$

- Arenas: 100 a 1000 Ωm
- Gravas: 200 a más de 1000 Ωm

Sondajes Electricos Verticales

Los sondeos eléctricos verticales (SEV) constituyen uno de los métodos de campo para determinar la variación en profundidad de las propiedades eléctricas del subsuelo. Los SEV consisten en una serie de determinaciones de resistividades aparentes, efectuadas con el mismo dispositivo y de separación creciente entre los electrodos de emisión y de recepción.

Los datos de resistividad aparentes obtenidas en cada SEV se representan por medio de curvas, en función de las distancias entre electrodos. La finalidad del SEV es averiguar la distribución vertical de resistividades bajo el punto sondeado. Son útiles en zonas con estratificación aproximadamente horizontal, en las que las propiedades eléctricas varían principalmente en profundidad, más que lateralmente.

Método Sísmico

Los métodos sísmicos vienen siendo las técnicas geofísicas con más incidencia en las aplicaciones geotécnicas. Su razón estriba en que los parámetros que se miden en esta metodología estén ligados íntimamente a las características dinámicas de los macizos rocosos.

Ondas Sísmicas

Muchos materiales del terreno se comportan de forma aproximadamente elástica, ante la acción de una fuerza instantánea aplicada a ellos. Este comportamiento se traduce en la aparición de vibraciones que se propagan a través de los materiales, como ondas sísmicas cuyo

frente se desplaza radialmente a partir del punto de aplicación de la fuerza, en este proceso se genera cuatro tipos de onda, dos que se propagan dentro de los materiales y otras dos que viajan siguiendo el contacto entre el material y la superficie del suelo. Las ondas de los dos primeros tipos son las que, en la literatura anglosajona, se denomina “body waves” y las dos últimas son las ondas superficiales.

2.3 Glosario de términos básicos

Calidad de la roca: Preliminarmente se puede evaluarla por su grado de fracturamiento y alteración química de sus minerales. Un método más completo es su evaluación Geomecánica.

Calidad de los suelos: Se hace mediante estudios de campo y laboratorio de Mecánica de Suelos.

Calicatas: Consisten en excavaciones realizadas mediante medios mecánicos convencionales, que permiten la observación directa del terreno a cierta profundidad, así como la toma de muestras y la realización de ensayos in situ.

Capacidad portante de rocas y suelos: Se hace determinando su resistencia en kg. Por cm. cuadrado de superficie, para ello se hacen ensayos en el campo, en laboratorio y cálculos aplicando la fórmula de Terzaghi.

Cimentaciones: Los cimientos son los responsables de transmitir las cargas de las diferentes estructuras al terreno. Generalmente se construyen de hormigón armado, salvo obras de pequeña importancia, en las que puede ser más rentable emplear hormigón en masa.

Conglomerado: Roca sedimentaria compuesta de cantos rodados, cementados en una matriz fina (arena, limo, arcilla), algunas veces la matriz puede ser calcárea o silicosa y en ocasiones

que el conglomerado ha sido sometido a fuertes presiones y temperaturas la matriz puede hallarse fundida. (Dávila, 2011)

Cohesión: Adherencia de los fragmentos, partículas o granos de las rocas, que ejercen unos a otros ayudados por la matriz o cementante. El grado de diagénesis o litificación se manifiesta en la cohesión de los fragmentos, a mayor diagénesis mayor cohesión. (Dávila, 2011)

Deslizamiento: Deslizamiento de masas rocosas o de suelo por la pérdida de estabilidad, que puede ser por saturación de agua, presencia de materiales arcillosos que actúan como lubricantes, fuertes inclinaciones de las vertientes u otras causas. (Dávila, 2011)

Diaclasamiento: Fractura o junta que aparece en el cuerpo de una roca ocasionalmente producida por los esfuerzos tectónicos, presentando direcciones definidas a las cuales se les denomina sistemas de diaclasas. Las diaclasas tienen especial importancia en el modelado terrestre dado que facilita la erosión. El diaclasamiento está controlado por la estructura geológica y por las deformaciones tectónicas. (Dávila, 2011)

Ensayo uniaxial o de compresión simple: El ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a compresión simple σ , y sus constantes elásticas: el módulo de Young, E , y el coeficiente de Poisson, ν . Es, por tanto, un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia y para la determinación de su deformabilidad.

Fórmula de Terzaghi para Capacidad portante: Esta fórmula considera valores de campo como ancho y profundidad de calicata y valor de densidad natural del suelo mediante el método del cono de arena, valores de laboratorio de ensayo de corte directo que define la cohesión del

suelo y el ángulo que sirve para calcular los factores de carga adimensionales. El resultado final la fórmula de un valor de kg/cm² de capacidad portante.

Geodinámica: Parte de la geología o geomorfología que estudia los fenómenos geológicos que provocan modificaciones en la superficie terrestre por acción de los esfuerzos tectónicos internos (geodinámica interna) o esfuerzos externos (geodinámica externa). (Dávila, 2011)

Investigaciones de laboratorios: Intervienen principalmente los siguientes laboratorios: laboratorio de mecánica de suelos, laboratorio de mecánica de rocas.

Investigaciones geológicas: Investigaciones que conciernen a los aspectos geológicos de un lugar (tipos de rocas y suelos o depósitos cuaternarios, aspectos estructurales de las rocas y características de riesgo sísmico).

Investigaciones geotécnicas: Son investigaciones que conciernen a las propiedades geotécnicas de las rocas y suelos. Son numerosas, todas ellas se refieren a las propiedades de los materiales geológicos para la construcción. Por ejemplo, la capacidad portante que usualmente se expresa en kg. Por cm. cuadrado.

Rocas: Son agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo. La proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica.

Litología: Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas. Se podría considerar como un sinónimo de petrología. (Dávila, 2011)

Plegamiento: Deformación de las rocas estratificadas, debido a los esfuerzos de compresión, a las propiedades plásticas de éstas y a las condiciones de elevada presión reinantes, tomando formas onduladas. Los plegamientos pueden clasificarse en estructuras arqueadas o convexas y cóncavas o en cubetas. (Dávila, 2011)

Suelos: según su acepción en ingeniería geológica, son agregados naturales de granos minerales unidos por fuerzas de contacto normal y tangencial a las superficies de las partículas adyacentes, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación en agua.

Superficie de Falla. El término superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o la rotura del talud. (Suarez, 2009)

Talud: Superficie inclinada del terreno que se extiende de la base a la cumbre de un cerro. (Dávila, 2011).

Tipos geológicos de rocas: Se refieren a su clasificación geológica general: ígneas, Sedimentarias y metamórficas.

Tipos geológicos de suelos: Se refieren a su clasificación genética: coluvial, fluvial etc.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

Con la correcta evaluación geológica y geotécnica se puede definir una cimentación y estabilidad física adecuada para el nuevo trazo de la línea de descarga norte de la mina Antamina.

2.4.2 Hipótesis Específicas

1. Las investigaciones geológicas permitirán conocer una parte de las condiciones del área de estudio.
2. Las investigaciones geotécnicas permitirán conocer los parámetros del material del área de estudio que ayudarán a definir una adecuada cimentación para el nuevo trazo de la línea de descarga norte.

2.5 Definición y operacionalización de variables

2.5.1 Identificación de variables:

Para el siguiente estudio se ha considerado como variable dependiente el diseño de la cimentación y como variables independientes a los estudios geológicas, geotécnicas, geomecánicas, geofísicas y caracterización química.

2.5.1.1 Variables dependientes: Corresponde al análisis de estabilidad y diseño geotécnico de las cimentaciones.

2.5.1.2 Variables independientes: Corresponde a la evaluación geológica y evaluación geotécnica.

2.5.2 Operación de variables:

Según la nueva Resolución de Consejo Universitario para el Reglamento de Tesis para la Obtención del Título Profesional en la Universidad Nacional de Piura la operacionalización de variables son especificaciones de actividades u operaciones necesarias para medir una variable. Aplicando ello a las variables identificadas en el párrafo anterior podemos decir: La operacionalización de las variables sobre evaluación geológica, geomorfológica, lito-

estratigráfica, estructural y procesos de geodinámica sería examinando el mapeo geológico efectuado y se medirá la veracidad de lo mapeado yendo al terreno y confirmar lo mapeado.

Con relación a las variables geotécnicas se procederá así: Se realizará calicatas y trincheras, donde se ejecutarán ensayos de densidad, ensayos de penetración dinámica – DPL, y se tomarán muestras que serán enviadas al laboratorio de mecánica de suelos y rocas. Para la evaluación Geomecánica de las rocas en el trazo se aplicaría el método RMR de Bieniawski que mide un conjunto de detalles de la roca y que luego se le asigna un puntaje de la calidad de la roca en el trazo. Para los estudios geofísicos se realizó una línea de refracción sísmica de 100 metros.

Para la variable de diseño geotécnico de la cimentación, se evaluará la capacidad de carga en suelos y rocas.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque y diseño

3.1.1 Enfoque cuantitativo:

Para el desarrollo de la presente investigación se ha considerado un enfoque cuantitativo.

En términos más sencillos, la investigación cuantitativa es un estudio basado en la medición de cantidades o magnitudes; por lo tanto, si deseas estudiar un fenómeno que puede ser expresado en datos numéricos, este tipo de investigación es la más apropiada (Kothari, 2004).

El problema investigado tiene características descriptivas y explicativas:

La investigación es descriptiva ya que, según las evaluaciones, cálculos y parámetros determinados en campo, así como los ensayos de laboratorio realizados servirán para describir la Geotecnia, Geología, Geomorfología, Geomecánica, etc. Este es el tipo de estudio al que más recurren los investigadores con menor experiencia, pues en él se pueden describir hechos o situaciones sin necesidad de dar una explicación rigurosa por las cuales se originan, por ello, se considera la investigación descriptiva como la base para otro tipo de estudios.

La investigación es explicativa porque a partir de las condiciones naturales de la zona de estudio permitirá dar a conocer cuáles son las características del suelo y el macizo rocoso para el diseño geotécnico de la cimentación.

3.1.2 Diseño:

El diseño es la estructura conceptual esencial para conducir la investigación, extraer la información necesaria y obtener evidencia; consiste en planificar una estrategia que permita conseguir los datos del estudio (Kothari, 2004). En otras palabras, el diseño responde a una pregunta crítica: ¿Cómo se realizará la investigación?

Se ha propuesto un diseño experimental, el cual se desarrollará para recolectar los datos que permitan comprobar el grado de validez de la hipótesis.

3.2 Sujeto de investigación

En la presente investigación se han considerado el tipo de muestra como no probabilística, es decir que no todos tiene la misma probabilidad de ser elegidos. De acuerdo a Arbaiza (2010), menciona que este tipo de muestreo involucra el juicio del investigador, por

ello debe tratarse en todo momento de mantener la imparcialidad en los criterios de selección, esta se ganará con la experiencia del investigador. Aun así, como señala Kothari (2004), este tipo de muestreo es ventajoso en términos de tiempo y dinero.

3.2.1 Población de estudio

Para el siguiente proyecto se consideró el área definida para el nuevo trazo de la línea de descarga norte de la mina Antamina, donde se realizarán los estudios e investigaciones en la superficie de los suelos y rocas en 18 calicatas, 02 trincheras, 09 estaciones geomecánicas y 01 línea de refracción sísmica.

3.2.2 Selección de muestras

Se seleccionaron las muestras de suelos de las 18 calicatas y 2 trincheras también son representativas y fueron llevadas al laboratorio de Mecánica de Suelos.

3.3 Métodos y procedimientos

La metodología del trabajo empleado fue llevada a cabo en 5 etapas:

3.3.1 Etapa preliminar de gabinete:

Se ha recopilado, evaluado y seleccionado información bibliográfica, y documental existente acerca del tema de investigación. Para la búsqueda y revisión bibliográfica se recurrió a la consulta de tesis, libros, revistas geológicas y base bibliográfica buscada en bibliotecas e internet, las que son relativamente escasas y de carácter restringido. Para la recopilación cartográfica y parte de la geología se recurrió a la información contenida en la base de datos del INGEMMET, específicamente el boletín N ° 76: Geología de los cuadrángulos de Huaraz,

Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca (INGEMMET, 1996), el cuadrángulo geológico de Recuay, hoja 20-i (INGEMMET, 1996) en lo que se refiere a la descripción del área de estudio.

3.3.2 Etapa de campo:

Primeramente, se realizó una inspección visual del área de estudio para determinar los ensayos de interés. Durante esta visita se identificó que el proyecto se ubica cerca de la Relavera de Antamina.

En segundo lugar, se realizó la inspección de campo, durante este periodo se realizaron las siguientes actividades:

Exploración geológica – geotécnica del terreno usando métodos convencionales como:

El mapeo geológico, el cual se debe disponer de un plano geológico publicado por el INGEMMET.

Se debe reconocer las formaciones estratigráficas luego las unidades litológicas que lo conforman, puede haber rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas. Luego se debe proceder a tomar sus rasgos estructurales: rumbo y buzamiento en diferentes puntos, presencia de pliegues, sistema de fracturas y fallas. Se debe mapear la presencia de problemas de Geodinámica Externa (deslizamiento, etc.).

Realizar el mapeo de tramos en depósitos cuaternarios o suelos, donde primero definimos el tipo de depósito cuaternario o suelo: fluvial, aluvial, coluvial, morrénico, eólico, etc. Luego se debe mapear su extensión. Por último, se debe evaluar la presencia de algún problema geodinámico y su influencia negativa para el trazo de la línea.

Calicatas: La exploración geotécnica de campo ha consistido en la excavación de calicatas a cielo abierto distribuidas convenientemente según los fines del estudio en total 18 calicatas y 2 trincheras. En cada una de las calicatas se realizó el registro de excavación de acuerdo a la norma ASTM D-2488. Se tomaron muestras disturbadas de las excavaciones para la ejecución de los ensayos de laboratorio correspondiente, las cuales fueron identificadas convenientemente y embaladas en bolsas de polietileno que fueron remitidas al laboratorio de mecánica de suelos.

Ensayos de Densidad In situ - Método del Cono de Arena: Con la finalidad de determinar la densidad natural del suelo, en total 06 ensayos en calicatas seleccionadas. Este método se realiza excavando un agujero dentro de la abertura de una placa base, el volumen del suelo a remover está en función al tamaño de las partículas del suelo. El material extraído será depositado en un recipiente hermético. El suelo extraído se pesa, luego el volumen del agujero se calcula mediante la diferencia del peso inicial y final de la arena estandarizada que queda en el frasco. Este ensayo se encuentra normado bajo la NTP 339.143 (ASTM D 5030).

Sondaje Dynamic Probing Light (DPL): Con la finalidad de conseguir la profundidad de rechazo en terreno, el cual indicaría la llegada a un estrato más resistente o la presencia de gravas, que adicionalmente permite determinar la resistencia del suelo, en total se realizaron 18 sondajes. El ensayo DPL (ASTM D422), consiste en el hincado continuo en tramos de 10 cm 9 de una punta cónica de 60° utilizando la energía de un martillo de 10 kg de peso, que cae libremente desde una altura de 50 cm. Este ensayo nos permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración, existiendo correlaciones para encontrar el valor N de resistencia a la penetración estándar en función del tipo de suelo por cada 10 cm de hincado.

También se realizó la caracterización geológica, toma de muestras para su análisis en el laboratorio.

Para el análisis del macizo rocoso, se efectuaron 9 estaciones geomecánicas donde se realizó las clasificaciones geomecánica RMR – SRM y la determinación de parámetros como el índice de resistencia geológica (GSI y la resistencia a la compresión uniaxial UCS).

Luego se realizó el tendido del equipo sísmico y la toma de datos respectivamente. Los shots o golpes generadores de ondas se ubican dependiendo de la longitud del tendido sísmico.

3.3.3 Etapa de laboratorio:

Con las muestras obtenidas y la densidad de campo que fueron tomadas en las calicatas y trincheras, estas fueron analizadas en el laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la Empresa Ingeotest Ingenieros S.A.C., para determinar los parámetros físicos como: granulometría, contenido de humedad, pesos específicos, límites de consistencia (Atterberg, liquido – plástico). Los ensayos se ejecutaron siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM), las normas para estos ensayos son las siguientes: _ Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422. _ Límites de Atterberg ASTM D-4318. _ Contenido de humedad ASTM D-2216. _ Clasificación SUCS ASTM D-2487.

Ensayo de Corte Directo: Con la finalidad de obtener los parámetros resistentes del suelo se realizaron en total 07 ensayos. Este ensayo consiste en colocar el espécimen en una caja de cizalladura directa, se fundamenta en aplicar un esfuerzo normal y luego un movimiento a velocidad constante en trayectoria horizontal, se mide la fuerza y desplazamiento a medida que es cizallada. Este ensayo se rige al ASTM D-5607.

Ensayo de Consolidación Unidimensional: Con la finalidad de determinar el grado de asentamiento que experimenta una muestra de suelo al someterla a una serie de incrementos de presión o carga, se realizó un ensayo. Este ensayo se rige al ASTM D-7181.

Ensayos Químicos: Los ensayos químicos permiten determinar el grado de agresividad del suelo con la cimentación u otras estructuras que estarán en contacto con el suelo, para esto se ejecutaron 07 ensayos químicos, para determinar la concentración de sulfatos y cloruros presentes en el suelo.

3.3.4 Etapa de gabinete:

En esta etapa del trabajo, toda la data e información que se recopiló en campo será analizada, procesada e interpretada; los resultados que se obtiene serán plasmados en cuadros, figuras y planos.

3.3.5 Etapa final:

Con los datos obtenidos en las etapas anteriores, se analizó la información obtenida en campo y en laboratorio, se elaboraron perfiles, se realizó el análisis y diseño de las cimentaciones, se procesó e interpreto mediante el uso del software: Slide V6; así mismo se realizó la elaboración de planos mediante el uso del software ArcGIS 10.2 y AutoCAD, procesamiento de datos geofísicos; por último, se realizó la discusión de los resultados obtenidos y redacción del informe final.

3.4 Técnicas e instrumentos

3.4.1 Técnicas

Consiste en procesar los datos (dispersos, desordenados, individuales) para generar como resultado (datos agrupados y ordenados), a partir de los cuales se realizará el análisis según los objetivos de la hipótesis de la investigación realizada (Hernández, 2003).

Las técnicas empleadas para el acopio de la información serán:

a) Datos de variables geológicas:

Serán por medio de imágenes satelitales, además de localización en campo de parámetros geológicos condicionantes en la zona, también se usó la información geológica del Instituto Nacional Geológico Minero Metalúrgico (Ingemmet).

b) Datos de variables geotécnicas:

Se determinarán las coordenadas en cada estación para luego ser plasmadas en el plano geotécnico. Se recolectar muestras representativas tomadas en campo mediante calicatas para su debido análisis en el laboratorio y se documentará a través de tablas.

Se va a realizar toma fotográfica en cada una de las estaciones determinadas en la etapa preliminar de gabinete. Se usará el método geomecánico de Bieniawski para determinar la calidad de las rocas. Para evaluar la capacidad portante de los suelos se aplicará la fórmula de Terzaghi a los valores de campo y laboratorio de muestras.

3.4.2 Instrumentos y equipos:

Para la realización de trabajos en campo y gabinete se emplearon los siguientes instrumentos:

- Plano Geológico (Escala: 1/2,000), coordenadas UTM WGS 84. Para identificar las formaciones geológicas y tipos de roca presentes.
- GPS Navegatorio Garmin Mal 60 Cx. Instrumento utilizado para la obtención de las coordenadas en la ubicación de puntos.
- Picota marca Estwing mango largo o martillo de Geólogo. Herramienta necesaria para extraer muestras de roca y probar su resistencia.
- Brújula Brunton modelo 5006. Usado para la toma de datos sobre direcciones, discontinuidades y planos de estratificación en las estaciones geomecánicas efectuadas y para determinar el rumbo y buzamiento de los estratos.
- Wincha de 50m: Para realizar las mediciones correspondientes en los taludes.
- Protactor: Para plasmar los datos obtenidos en campo en los planos a escala.
- Lupa 20X – 10X: Para determinar los cristales y el tamaño de grano que presentan las diferentes muestras obtenidas.
- Lápiz de dureza: Para determinar el grado de dureza que presentan los clastos de las muestras obtenidas.
- Laptop HP de 4GB de memoria RAM. Instrumento utilizado para el procesamiento de los datos y redacción del informe.
- Libretas de apuntes. Utilizado para llevar el control de ubicación y datos específicos de los ensayos realizados.
- Rotuladores de muestras. Para identificar y codificar las muestras obtenidas.
- Bolsas plásticas de muestreo. Usadas para guardar y transportar las muestras alteradas e inalteradas.

- Lapiceros y lápices. Utilizado para anotaciones, codificados y cartografiados.
- Cámara Samsung 12MP. Instrumento utilizado para el registro fotográfico.
- Tablas geomecánicas, tablas de suelos y de registro. Utilizados como guías para la documentación de las propiedades de resistencia de los macizos rocosos e identificación de suelos.
- Planos (topográficos, geológicos,): Para determinar la ubicación de la zona de estudio; así como también para identificar la litología que aflora en dicha zona

Los equipos empleados para la investigación fueron:

- Equipos de tamizado. Utilizados para los análisis granulométricos de suelos.
- Se ha empleado un sismógrafo de última generación modelo GEODE, fabricado por la empresa Geometrics, el cual cuenta con 24 canales de registro de ondas de llegada, y de 16 bits de resolución, complementan el sistema, geófonos de 4.5 Hz., cables sísmicos y cables de sincronización con la generación de la onda.
- La fuente de generación de ondas es un martillo de 24 libras el cual se usa para dar los golpes (shot) en las partes externas e internas de la línea sísmica con el fin de generar las ondas primarias “P” que son registradas por los sensores sísmicos..

Los Softwares utilizados son los siguientes:

- AutoCAD vers. 2016. Para la elaboración de los planos a detalle de la zona de estudio.
- Microsoft Office vers. 2013. Para registrar los datos de campo y posteriormente redactar el informe de investigación.

- Adobe Acrobat Reader DC vers. 2017. Utilizado para visualizar los diferentes archivos, libros virtuales, pappers, artículos, publicaciones científicas que sirvieron como fundamento para realizar esta investigación.
- Software Slide Versión 6.004 de Rocscience. Para evaluar las características del macizo rocoso.
- Seismodule Controlle; software que se utilizo para la adquisición de los datos sísmicos.
- Seisimager; programa elaborado para el procesamiento e interpretación de data sísmica.
- Pickwin; programa utilizado para el procesamiento inicial de la data sísmica.

Por último, se emplearon ensayos de laboratorio donde se determinaron algunas características del suelo que no se logran conseguir en el campo, como la permeabilidad, cohesión, ángulo de fricción, plasticidad.

Anexo C: Matriz general de consistencia

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Evaluación Geológica

La evaluación geológica y geodinámica fue realizada a nivel regional y a nivel local en el área de reubicación de línea de descarga norte, para fines de evaluación de cimentación y estabilidad de taludes.

En este capítulo se detallan las características de la geología regional y local, las cuales incluyen geomorfología, lito-estratigrafía, geología estructural, geomorfología y procesos de geodinámica externa.

Para la elaboración del presente estudio, se realizó la evaluación de campo, complementándose con la información del Boletín N° 76: Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca (INGEMMET, 1996), el Cuadrángulo Geológico de Recuay, hoja 20-i (INGEMMET, 1996) en lo que se refiere a la descripción del área en estudio.

Caracterización Geológica

4.1.1 Geología regional

El sector de estudio abarca el extremo SE del Departamento de Ancash, así como la parte occidental de Huánuco estando comprendida dentro de la Cordillera de los Andes, caracterizada por una topografía abrupta. Algunos sectores de topografía plana pueden observarse en la Unión y Yanahuanca, así como al Este de Chiquian. Las faldas de las montañas son empinadas y profundas, producto de la rápida profundización de los efluentes en relación con el levantamiento de los Andes.

El área donde se emplazará la línea de descarga norte se encuentra dentro de un grueso paquete de rocas sedimentarias del Cretáceo Superior, controlado por un anticlinal y la presencia de fallas inversas ubicadas hacia el Nor-Este y Sur-Oeste de la Minera Antamina.

Los afloramientos de rocas son limitados por la cubierta de depósitos cuaternarios. Para más detalle ver el Anexo D donde se presenta el Plano CAD-17001-EG-01 que contiene la Geología Regional.

“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”



Ilustración 1 Fisiografía regional de Antamina

4.1.1.1 Geomorfología:

Geomorfológicamente, el área del proyecto presenta una superficie de peneplanización denominándola superficie puna (Mc Laughlin 1924).

Superficie Puna: Consiste en una superficie pobremente desarrollada, la cual no ha logrado una peneplanización completa y que fue reconocida principalmente por la concordancia de las cumbres. Esta superficie se estableció truncando los pliegues de la tectónica incaica que afecto a los estratos paleozoicos y mesozoicos.

La unidad más importante aflorante en superficies es el Grupo Calipuy y la superficie que Mc Laughlin reconoció, parecería haberse formado sobre estas rocas.

El estado Valle: Es un estadio de erosión está bien desarrollado en el área y forma muchos de los taludes entre los 3000 y 4000 m. Estos declives moderados en combinación con

el incremento de lluvias y climas poco variables prevalecen a estas altitudes, habiendo proveído las mejores localidades para los asentamientos humanos y de cultivos en el Perú.

El estado Cañón: Este estadio de erosión fue producido por un rápido levantamiento que dio como resultado la incisión de profundos cañones que truncan los bordes del estadio Valle y que en excepcionales circunstancias cortan por dentro superficies más viejas.

Glaciación: Las partes más altas del área han sido profundamente afectadas por la glaciación pleistocénica, con significativas acumulaciones de hielo que cubren aun los picos de la Cordillera Blanca y la Cordillera Raura. Sin embargo, donde las acumulaciones de hielo han desaparecido, se pueden ver en la topografía intacta que descienden hasta alturas de 3500 metros que esta ha sido afectada por la fricción del hielo, así como por la acumulación de morrenas.

Los picos invariablemente muestran una apariencia angular peñascosa que es debido al hielo y a los depósitos de morrenas laterales y frontales. En la parte más alta los lagos ocupan cubetas labradas por la glaciación, estando comúnmente encerrado por morrenas que actúan como diques.

Algunas de estas lagunas represadas por morrenas son muy recientes y son consecuentemente débiles, constituyendo un riesgo para las comunidades que viven en las cuencas de drenaje, en el caso de que estos diques naturales fallaran.

Es posible distinguir depósitos morrénicos de dos diferentes edades. Los más antiguos han sufrido meteorización, de modo tal que las crestas de morrenas han sido degradadas, constituyendo colinas y lomadas de cumbres redondeadas y escarpas profundas donde han sido disectadas por cursos de agua, en cambio las morrenas recientes son frescas y muestran aún sus

crestas agudas. Estas se localizan generalmente en las partes más altas y próximas a los glaciares actuales. Se observan pequeños lagos sin drenaje en las depresiones intramorrénicas.

4.1.1.2 Estratigrafía:

Las rocas de caja del yacimiento Antamina están constituidas por una secuencia de calizas, margas y limolitas calcáreas de la formación Celendín de edad Cretácico superior, que se encuentran intruidas por varias apófisis de un intrusivo porfirítico del Mioceno. Tanto las rocas de la formación Celendín y los estratos calcáreos y clásticos de las formaciones infrayacentes del Cretácico inferior, se encuentran plegadas con fallamientos de sobreescurreimiento que siguen un rumbo general noroeste.

La intrusión de la monzonita porfirítica de Antamina ha producido por metasomatismo de las calizas de la formación Celendín, aureolas de skarn con mineralización polimetálica. El skarn de Antamina tiene una longitud de 2.5 km de largo por 1 km de ancho y aproximadamente 1 km de profundidad. Al igual que en muchos yacimientos de Minero Perú, se nota que la actividad magmática es común en la mayoría de ellos. Las relaciones estratigráficas entre estas unidades se pueden ver en la ilustración 2.

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOSTRATIGRAFICA	ORDEN (m)	COLUMNA	DESCRIPCION LITOLÓGICA
C E N O Z O I C A	CUATERN.	HOLOCENO				DEPOSITOS ALUVIALES, COLUVIALES GLACIOFLUVIALES MORRENAS
						FLUJO DE CENIZAS SOLDADAS
	NEÓGENO	MIOCENO	SUPERIOR	2000		SECUENCIA DE TORAS HOMINOTICAS Y LAVAS PRO-CLASTICAS
		OLIGOCENO	GRUPO CALPUY			
M E S O Z O I C A	PALEO.	EOCENO	INFERIOR			SECUENCIA DE LAVAS ANDESITICAS
		PALEOCENO	FR. CASAPALCA	500		ARENISCAS ROJAS FRABLES, MARGAS Y CONVOLUCIONADOS, PRESENCIA DE CALIZAS LENTICULARES
	CRETACEO	SUPERIOR	FR. CELENDIN	500		CALIZAS, MARGAS MODULARES POBREMENTE ESTRATIFICADAS, ABUNDANCIA DE FOFOLES.
			FR. JUNASHA	1100		CALIZAS GRISAS EN ESTRATOS DE 1 a 2m. DE GROSOR RESISTENTES, FORMAN FARALLONES
		INFERIOR	FR. PARATAMBO	500		MARGAS COLOR MARRON OSCURO, COLOR PÉTIDO
			FR. CHILIC	100		CALIZAS OSCURAS EN CAPAS DELGADAS
			FR. PARAHUANCA	100		CALIZAS Y MARGAS COLOR CREMA, ASPECTO MARNÓ
			FR. FARRAY	20		CALIZAS MASIVAS DE TONDAZUL, ESTRATO DE 1 a 2m. DE GROSOR
						ARENISCAS BLANCAS FRABLES
			FR. CARHUAZ	1300		SECUENCIA DE LINDARCILITAS COLOR GRIS A VERDE, CAPAS DE YESO EN LA PARTE INFERIOR, Y EN LOS NIVELES SUPERIORES LINDARCILITAS ROJAS
			FR. SANTA	150		CALIZAS COLOR AZUL GRIS, ESTRATIFICACION DELGADA
			FR. CHEMU	600		ARENISCAS CUARZOSAS BLANCAS MASIVAS EN ESTRATOS ENTRE 1 a 2m. DE GROSOR
			FR. OTÓN	100		ARENISCAS EN CAPAS DELGADAS INTERCALADAS CON CAPAS DE MARGAS GRISAS FINAS
	JURASICO	SUP	FR. CHICAMA	>1500		PIZARRAS Y ARENISCAS GRISAS, NIVELES CON PARTA SINDEMETICA, LOS NIVELES DE ARENISCAS SON MASIVOS HACIA LA PARTE SUPERIOR CUANTO MAS OSCURA, RESTO DE PLANTAS.

Ilustración 2 Columna Estratigráfica Regional del Área de Estudio y Alrededores.

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

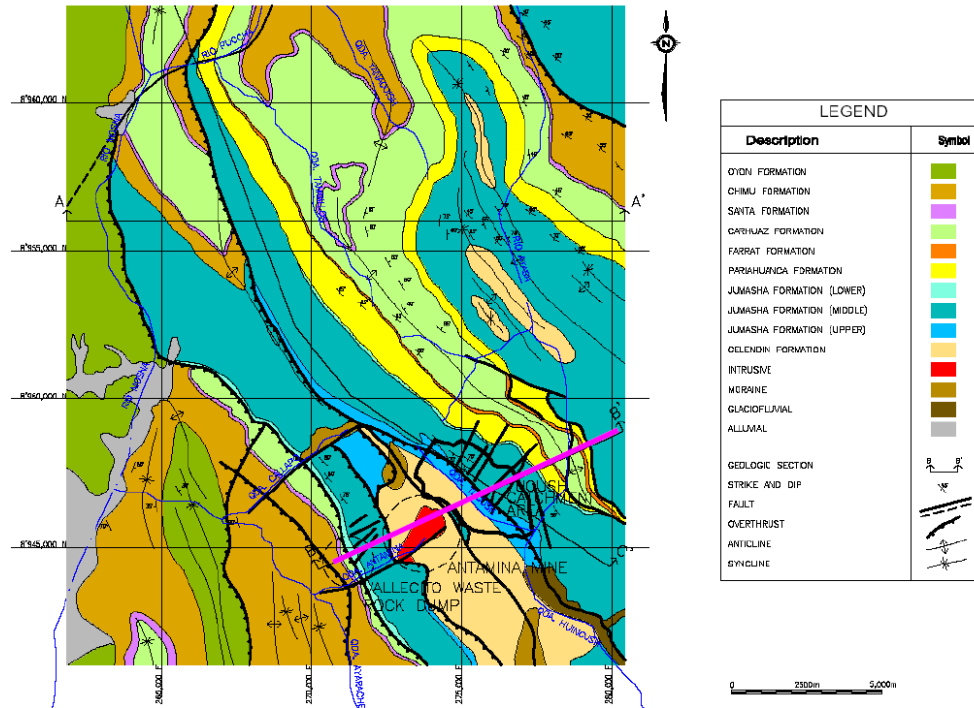


Ilustración 3 Geología Regional del Yacimiento Antamina.

4.1.1.3 Tectónica:

El área de estudio y su entorno ha sido deformada por la tectónica, estas deformaciones corresponden a fallamientos cuyos lineamientos tienen la orientación andina. El depósito de Antamina se encuentra localizado en la principal línea de eje estructural, los cuales separan los depósitos del Miogeosinclinal de los Geoanticlinal del Maraón. Las formaciones inmediatamente al Oeste de la línea son generalmente formaciones clásticas del Jurásico superior al Cretáceo inferior, así como las formaciones Chicama, Chimú, Santa, Carhuaz, mientras que al Este de la línea son calizas del Cretáceo superior como las formaciones Jumasha y Celendín, se denota un fuerte contraste en litología a ambos lados de la línea longitudinal. Esta línea será el causante de un canal de salida para el emplazamiento de los stocks intrusivos

que generalmente están instruidos dentro de la caliza generando los diferentes tipos de mineralización.

4.1.1.4 Geología Estructural:

El yacimiento de Antamina presenta las siguientes estructuras:

Controles Estructurales

NE: Fallas transversales al sistema andino

NW: Sobreescurrimientos y plegamientos (320°)

Controles Estratigráficos / Litológicos

Roca sello de textura afanítica (Fm. Celendín)

Metalotecto altamente carbonatado (FM. Jumasha)

Depósitos dependiendo de la química, temperatura y presión del medio ambiente.

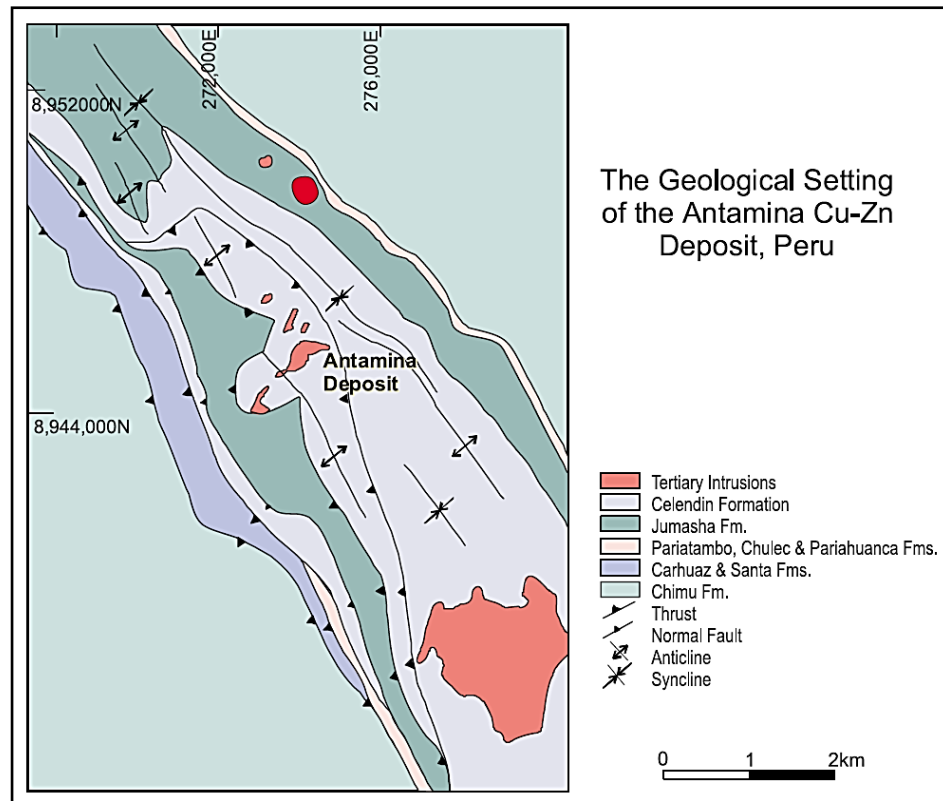


Ilustración 4 Rasgos Estructurales del Área de estudio y alrededores.

4.1.1.5 Alteraciones:

La intrusión porfirítica comprende múltiples intrusiones, habiéndose podido identificar hasta nueve fases. La intrusión contiene mineralización de cobre/molibdeno tipo porfirítico, con leyes que por lo general están por debajo de 0.7% de cobre-equivalente, valor que ha sido utilizado como ley de corte para el plan de minado. Las fases intrusivas asociadas con el evento de mineralización han sido afectadas por la alteración potásica. La alteración filítica está pobremente desarrollada, pero muy extendida. La silificación penetrante en la roca puede ocurrir localmente, pero no hay una zona definida para la alteración propilítica. La ilustración 8 muestra las principales zonas alteradas y la distribución de la mineralización.

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

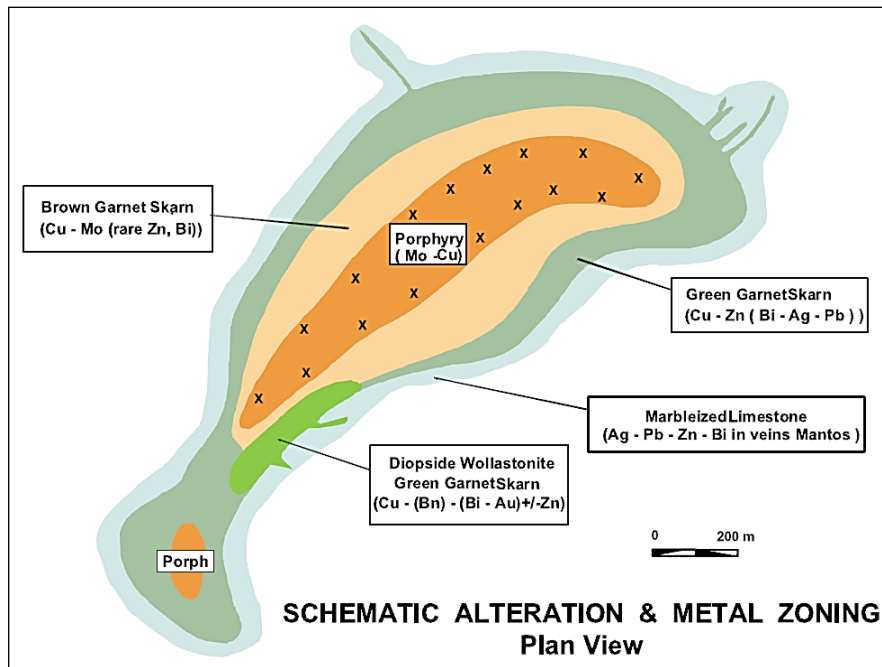


Ilustración 5 Esquema de Alteraciones de Antamina

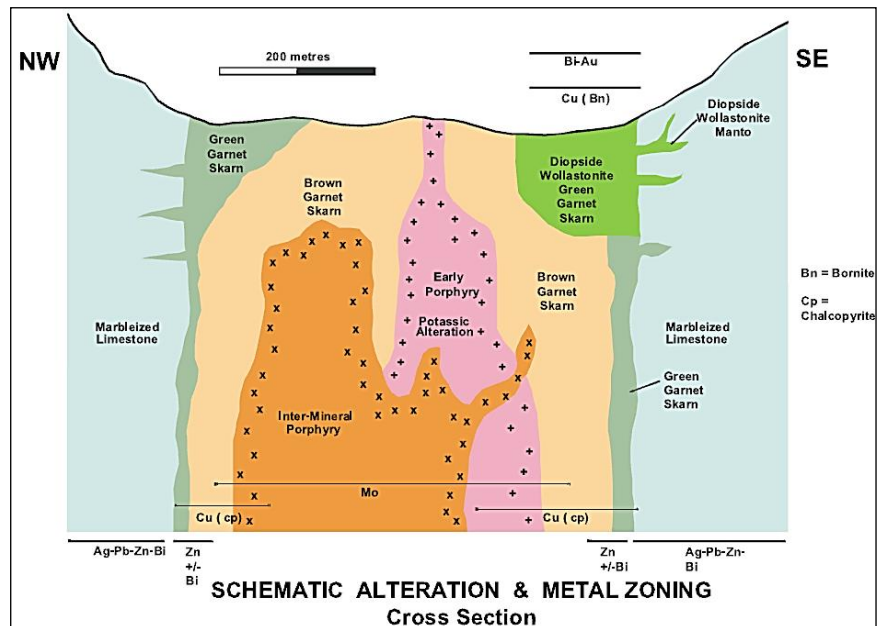


Ilustración 6 Esquema de Alteraciones en sección de Antamina.

4.1.1.6 Mineralización:

La mineralización está limitada a pequeñas cantidades de pirita en las calizas, aunque es común encontrar vetas y mantos de skarn, algunos de ellos mineralizados y otros no, dentro de la caliza. La caliza muestra susceptibilidad a intemperización kárstica. La intemperización kárstica es causada por disolución de la caliza, generalmente a lo largo de las fracturas (conductos de flujo). Esto da origen a la presencia de cavidades y grietas dentro de las formaciones de caliza. No se ha observado la presencia de rasgos kársticos en la superficie del área del depósito Antamina.

4.1.2 Geología Local

4.1.2.1 Litoestratigrafía

El depósito de Antamina es un depósito de tipo skarn polimetálico, con mineralización de cobre, zinc, plata, molibdeno y bismuto. El depósito se formó como resultado del emplazamiento del intrusivo Antamina y de otros cuerpos intrusivos porfiríticos relacionados a éste, en la formación de calizas de la Formación Celendín. El metasomatismo de contacto resultó en la formación del skarn mineralizado a lo largo de los límites entre los intrusivos y la caliza. La mineralización económica ocurre en aproximadamente el 90% del skarn y localmente dentro del intrusivo y la caliza.

Las calizas Celendín albergan el depósito y forman afloramientos prominentes en las crestas y paredes del Valle Antamina. En los afloramientos, se presenta estratificado en capas de 1 a 3 m de espesor. La caliza es gris claro y se intemperiza con una coloración blanca o

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

crema. La estratificación es evidente en una escala de varios centímetros de espesor, sin fósiles, conchas u otro material biógeno. La caliza ha sido clasificada como micrita.

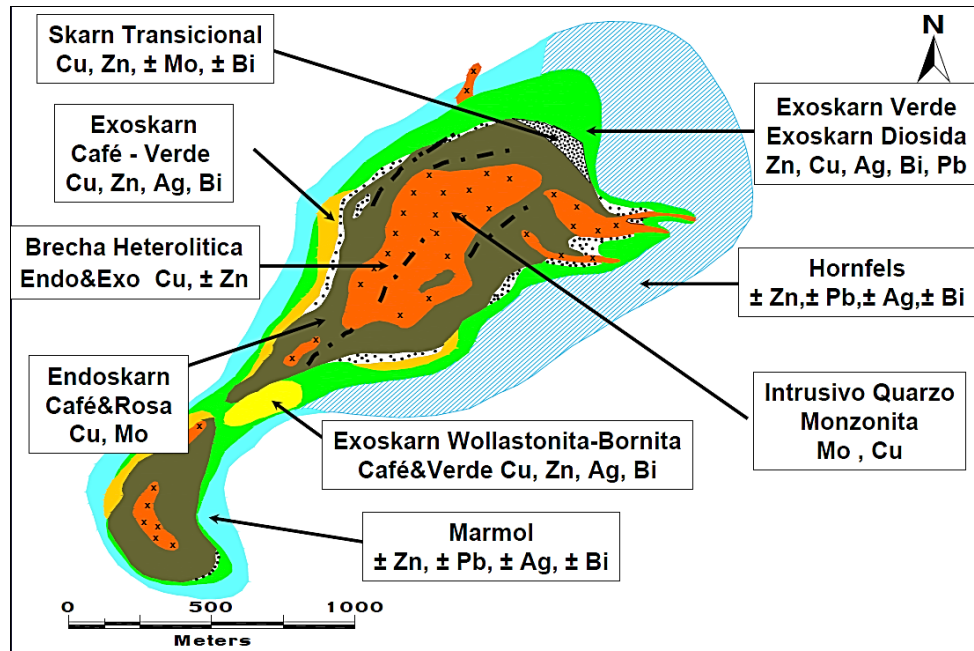


Ilustración 7 Esquema Litológico y Zoneamiento de Antamina.

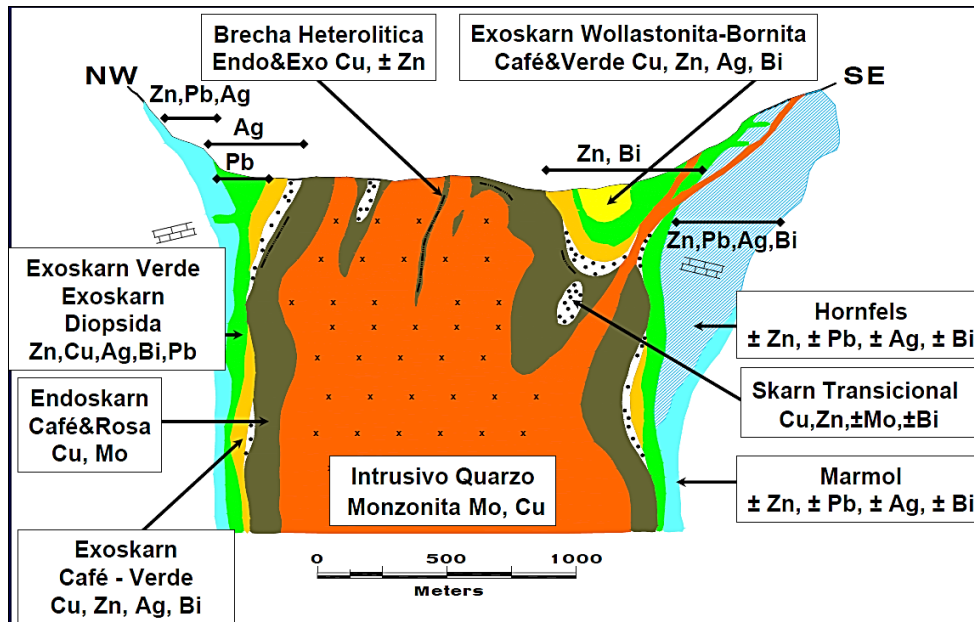


Ilustración 8 Esquema Litológico y Zoneamiento de Antamina.

A continuación, se describen las unidades litológicas cartografiadas en el área de estudio:

Calizas y Areniscas (Formación Celendín):

En varios sectores de la zona en estudio, se han encontrado calizas margosas de textura nodular, pobremente estratificadas, algo homogéneas las cuales contienen abundantes fósiles, los remanentes de las alteraciones epitermales de alta sulfuración en la mina, producen una coloración amarillenta grisáceo en las paredes de sus planos de fractura; la textura y composición mineralógica se asemejan a las calizas de la formación Chulec. Se intercalan con estratos de limo-arcillitas grises y margas las que en general dan lugar a una morfología de moderada a suave con cobertura de suelos (ilustración 9).

En los alrededores de los puntos EG-02 y EG-03, se ha observado afloramientos de areniscas de grano fino, color gris claro, de fracturamiento moderado, su potencia es de varios metros. No se observaron intercalación con otros estratos, debido a la potencia de estas areniscas.



Ilustración 9 Afloramiento de Caliza Nodular Moderadamente Fracturada.

Depósitos Morrénicos:

Conformadas principalmente por fragmentos de rocas andesítica, tufos e ignimbritas, de formas angulosas y subangulosas envueltas en matriz limo-arenoso. Estos depósitos muestran una morfología de lomadas y colinas de cumbres redondeadas, en el plano geológico local su afloramiento es escaso.

Depósitos Fluvioglaciares:

Formados por erosión glacial. Las evidencias de la glaciación son la presencia de estrías glaciares, valles en forma de U, circos y morrenas. Los depósitos fluvio-glaciares presentan una potencia de varios metros. La secuencia consiste en gravas pobremente gradadas y no consolidadas con fragmentos de formas variadas y tamaños similares a arenas hasta bloques, en una matriz de arcillas y limos. Ver Ilustración 10.



Ilustración 10 Vista de depósitos fluvioglaciares y morrenas.

Depósitos Antrópicos:

Este depósito tiene una amplia distribución en el área de estudio y puede ser observado en el plano de geología local, está constituido por material de escombro de mina, suelos orgánicos tipo Top Soil, relaves, etcétera. Ver en la Ilustración 11 una vista de los depósitos Antrópicos.



Ilustración 11 Vista de los depósitos antrópicos en el área de estudios.

4.1.2.2 Geomorfología

Las principales unidades morfológicas ubicadas a lo largo de la reubicación de línea de descarga norte, son típicas de zonas alto andinas, donde se puede encontrar las unidades denominadas colinas y lomas. Así mismo, se pueden observar estructuras de erosión en distintos lugares aledaños a la zona de proyecto, tales como en cortes de vías internas y alrededores de componentes de mina; siendo las escarpas y líneas de erosión, que más pueden observarse.

Durante la evaluación geomorfológica, se identificaron algunas unidades morfológicas dentro del recorrido de la línea de descarga norte y alrededores. A continuación, se describe la unidad morfológica reconocida:

Valles Glaciares: son aquellos valles formados por la erosión sistemática de morrenas, presentan forma de U, observados a los alrededores del complejo Antamina.

Lomas: al igual que las laderas, esta unidad geomorfológica se presenta en gran parte de la zona de proyecto; presentan un relieve suave, observados sobre las laderas, la vegetación observada es propia de la zona alto andina, los rasgos de erosión son mínimas, puesto que la erosión presente, es evidenciada con mayor proporción en las laderas. Ver Ilustración 12.



Ilustración 12 Vista de Lomas y Colinas de Laderas suaves a empinadas.

Colinas: La unidad se presenta a lo largo de la línea (proyectada) de descarga norte con laderas de pendiente de moderada a empinada, una vista de este rasgo geomorfológico se presenta en la Ilustración 13.



**Ilustración 13 Vista de escarpas en colinas a lo largo de la Línea de Descarga Norte
(Caliza)**

4.1.2.3 Geología Estructural:

A lo largo de la Línea de Distribución de Descarga Norte no se observaron fallas activas que pudieran afectar la estabilidad física de la estructura a proyectar. La cimentación de la Línea de Descarga Norte esta siendo afectada por el sistema de diaclasamiento presente en el macizo rocoso de la Formación Celendín, constituido por Calizas y Areniscas, otro de los controles estructurales observados en terreno es la presencia de restos de flancos de anticlinal y de sinclinal que han sido erosionados por la glaciación

4.1.2.4 Geodinámica Externa:

No se observaron problemas de geodinámica externa que pudieran afectar la estabilidad física de la estructura proyectada, los problemas de geodinámica externa que pudieran presentarse serán durante los cortes en el macizo rocoso para la construcción de la Línea de Descarga Norte, tipificado como caída de rocas. Se recomienda el perfilado y desquinche de los taludes removiendo los bloques sueltos presentes después de la construcción de la Línea de Descarga.

4.2 Evaluación Geotécnica

4.2.1 Investigaciones Geotécnicas

La información geotécnica recabada está comprendida por los perfiles estratigráficos de dos (02) trincheras y dieciocho (18) calicatas de hasta 3.0 m de profundidad distribuidas a lo largo de la proyección de la línea de descarga norte. Se conoce además que durante los trabajos de campo se efectuó la extracción de muestras representativas disturbadas; las que permitieron conocer a detalle la composición estratigráfica del terreno.

En el Anexo E se ubican los registros de calicatas - perfiles estratigráficos. En la Tabla 1 y 2 se presenta un resumen de los registros de las exploraciones realizadas mediante calicatas y trincheras.

Tabla 1 Ubicación de calicatas

Calicata	Norte* (m)	Este* (m)	Prof. (m)	Nivel Freático (m)	Observación
C – 01	8'942,582	276,051	3.0	NE	Grava GP-GC.
C – 02	8'942,708	276,096	1.5	NE	Grava GP-GC.
C – 03	8'942,826	275,971	0.8	NE	Turba Pt, Grava GC, roca.
C – 04	8'942,878	275,830	1.1	NE	Turba Pt, Grava GC, roca.
C – 05	8'943,123	275,870	0.9	NE	Turba Pt, Grava GC, roca.
C – 06	8'943,178	275,704	1.5	NE	Turba Pt, Limo MH, roca.
C – 07	8'943,383	275,807	1.5	NE	Turba Pt, Arcilla CH, roca.
C – 08	8'943,792	275,885	1.4	NE	Turba Pt, Arcilla CH, roca.
C – 09	8'944,038	275,927	1.4	NE	Turba Pt, Grava GC, roca.
C – 10	8'944,150	275,893	0.1	NE	Arena SM, roca.
C – 11	8'944,254	275,888	1.8	NE	Turba Pt, Limo ML, roca.
C – 12	8'944,464	276,004	1.0	NE	Turba Pt, Arcilla CL, roca.
C – 13	8'944,695	276,020	3.0	NE	Turba Pt, Grava GC, roca.
C – 14	8'944,946	275,977	0.5	NE	Grava GP-GC, roca.
C – 15	8'945,024	276,076	0.0	NE	Roca maciza.
C – 16	8'945,316	276,143	1.7	NE	Turba Pt, Arcilla CL, roca.
C – 17	8'945,231	276,474	0.0	NE	Roca maciza
C – 18	8'945,361	276,618	0.1	NE	Turba Pt, roca.

Notas:

Las excavaciones fueron realizadas de forma manual

NE: No encontrado.

*Coordenadas UTM PSAD-56, fueron referenciadas con GPS.

Tabla 2 Ubicación de trincheras

Trinche ra	Norte* (m)	Este * (m)	Prof. (m)	Nivel Freático	Observación
T - 01	8'942,6	276,062	1.1	NE	Grava GP, bolonería. > 24”.
T - 02	8'942,7	276,045	1.4	NE	Grava GP-GC.

Notas:

Las excavaciones fueron realizadas de forma manual.

NE: No encontrado.

*Coordenadas UTM PSAD-56, fueron referenciadas con GPS.

4.2.2 Ensayo de densidad

A continuación, las calicatas enlistadas en la Tabla 3 donde se realizaron ensayos de densidad in situ mediante el método de reemplazo de agua, con la finalidad de determinar la densidad natural del suelo. Para la ejecución de este ensayo, se siguió el procedimiento de la norma ASTM D5030. Se puede observar en el Anexo E.

Tabla 3 Ensayos de Densidad In Situ Ejecutados

Calicata	Profundidad (m)	Humedad %	Densidad húmeda (g/cm³)	Densidad Seca (g/cm³)
C – 01	0.5	3.92	1.905	1.833
C – 04	0.6	9.14	2.051	1.880
C – 06	1.4	59.9	1.480	0.925
C – 08	1.2	35.6	1.726	1.273
C – 12	1.2	36.9	1.722	1.270

Fuente:

INGEOTEST

4.2.3 Ensayo de Penetración Dinámica - DPL

Los ensayos DPL que se presenta en la Tabla 4, se realizaron con la finalidad de determinar el espesor de los distintos estratos mediante la resistencia a la penetración del terreno y obtener los parámetros de resistencia del suelo. Para la ejecución de este ensayo, se siguió los procedimientos de la norma ASTM D3441.

Tabla 4 Ensayo de Penetración Dinámica Ligera - DPL

DPL	Norte* (m)	Este * (m)	Profundida d Alcanzada (m)	Numero de Golpes promedio (N_{DPL})	Numero de Golpes promedio (N_{SPT})	Compacidad relativa (Dr)
DPL – 01	8°942,585	276,045	0.0	Rechazo	> 50	Muy compacta
DPL – 02	8°942,712	276,099	0.2	12	8	Suelta
DPL – 03	8°942,830	275,974	0.4	14	10	Media
DPL – 04	8°942,874	275,824	1.5	38	26	Media
DPL – 05	8°943,126	275,872	0.7	15	10	Media
DPL – 06	8°943,185	275,700	1.3	40	28	Media
DPL – 07	8°943,387	275,812	0.8	50	36	Compacta
DPL – 08	8°943,784	275,892	0.6	10	7	Suelta
DPL – 09	8°944,031	275,926	1.5	45	31	Compacta
DPL – 10	8°944,143	275,892	0.1	12	8	Suelta
DPL – 11	8°944,251	275,881	1.8	28	19	Media
DPL – 12	8°944,470	275,997	0.7	14	10	Media
DPL – 13	8°944,690	276,013	1.4	20	14	Media
DPL – 14	8°944,944	275,969	NE	NE	NE	NE
DPL – 15	8°945,021	276,069	NE	NE	NE	NE
DPL – 16	8°945,313	276,136	1.9	22	15	Media
DPL – 17	8°945,228	276,466	NE	NE	NE	NE
DPL – 18	8°945,356	276,620	NE	NE	NE	NE

Notas:

NE: No ejecutado por presentar roca en la superficie.

*Coordenadas UTM PSAD-56, fueron referenciadas con GPS.

Ensayo de laboratorio de mecánica de suelos y rocas

Con el propósito de definir las características físicas y mecánicas de los materiales encontrados, se consideró conveniente llevar a cabo un programa de ensayos de laboratorio con muestras representativas de suelos y rocas.

A continuación, en la Tabla 5 y Tabla 6 se indica los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos y rocas realizados a cada muestra:

Tabla 5 Ensayos de Suelos

Muestras de suelos	Granulometría por Tamizado (ASTM D422)	Limistes Liquido y Plástico (ASTM D4318)	Humedad (ASTM D2216)	Corte Directo (ASTM D3080)	Triaxial CD (ASTM D7181)
C - 01	X	X	X	X	X
C - 02	X	X	X		
C - 03	X	X	X		
C - 04	X	X	X	X	
C - 05	X	X	X		
C - 06	X	X	X	X	
C - 07	X	X	X		
C - 08	X	X	X	X	
C - 09	X	X	X		
C - 10	X		X		
C – 11	X	X	X		
C – 12	X	X	X	X	
C – 13	X	X	X		
C – 14	X	X	X		
C – 16	X	X	X		

Fuente:

INGEOTEST

Tabla 6 Ensayo de Rocas

Estación Geomecánica	Propiedades Físicas (ISRM)	Carga Puntual (ASTM D5731)	Corte Directo (ASTM D5607)
EG – 01	X	X	
EG – 02	X	X	X
EG – 03	X	X	
EG – 05	X	X	
EG – 07	X	X	X
EG – 08	X	X	
EG – 09	X	X	

Notas:

Propiedades físicas: Gravedad específica, peso unitario, absorción y porosidad.

Luego de realizados los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, se procedió a comparar los resultados obtenidos con las características de los suelos estimados en el campo, efectuándose las compatibilizaciones correspondientes en los casos en que fue necesario. De esta manera se obtuvieron los perfiles estratigráficos definitivos, que son los que se presentan en el Anexo E.

El detalle de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos de laboratorio de mecánica de suelos y rocas se muestra en los Anexos F.

4.2.3 Calicatas y trincheras

A continuación, se presenta una descripción general de los principales aspectos geotécnicos de la ruta proyectada para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte de acuerdo a los trabajos de campo realizados durante las investigaciones geotécnicas.

T-01: 0.00 - 0.50 m. GRAVA (GP), grava pobremente gradada, compacidad suelta $TM < 8''$, seca, gris, con partículas angulosas. 0.50 - 1.10 m ENROCADO, bolonería mayor a 24".

T-02: 0.00 - 1.40 m. GRAVA (GP - GC), grava pobremente gradada - grava arcillosa, compacidad suelta a medianamente denso $TM < 6''$, seco, gris, con partículas de 2" - 3", con bolonería menor a 6".

Calicata C-01: 0.00 - 3.00 m. GRAVA GP-GC, grava pobremente gradada y grava arcillosa, índice de plasticidad 5.9%, con características de consistencia limite liquido 18.2%, limite plástico 12.3%, visualmente se define como material de relleno no compactado, humedad 1.1 %, gris, con presencia de bolonería de 5" - 6". El material presenta un coeficiente de uniformidad $Cu=52$ y coeficiente de curvatura $Cc=4.16$, está compuesto por gravas en 73.5%, arena en 19.4% y finos en 7.1%.

Calicata C-02: 0.00 - 1.50 m. GRAVA GP-GC, grava pobremente gradada y grava arcillosa, índice de plasticidad 10.4%, con características de consistencia limite liquido 24.8%, limite plástico 14.4%, compacidad medianamente densa, con humedad 4.8%, gris, con presencia de bolonería de 6". Está compuesto por gravas en 71.1%, arena en 17.5% y finos en 11.4%.

Calicata C-03: 0.00 - 0.20 m. TURBA (Pt). Suelo altamente orgánico, raíces estado de descomposición, de marrón a negro, muy húmeda. 0.20 - 0.80 m. GRAVA (GC), grava arcillosa, índice de plasticidad 19.7%, con características de consistencia limite liquido 40.9%, limite plástico 21.2%, humedad 9.6%, gris, con presencia de bolonería de 12". Compuesto por gravas en 65.5%, arena en 19.5% y finos en 15.0%.

Calicata C-04: 0.00 - 0.10 m. TURBA (Pt). Suelo altamente orgánico, con raíces, de marrón a negro. 0.10 - 1.10 m. GRAVA (GC), grava arcillosa, índice de plasticidad 17%, con límites de consistencia limite liquido 32.8%, limite plástico 15.8%, de compacidad medianamente densa a densa, húmeda 9.2%, marrón, con presencia de grava $T_{máx}=6"$. Presenta una composición de grava en 53%, arena de 26.2% y finos 20.8%.

Calicata C-05: 0.00 - 0.50 m. TURBA (Pt). Suelo altamente orgánico, con vegetación en la superficie, raíces estado de descomposición, de marrón a negro, muy húmeda. 0.50 - 0.90 m GRAVA (GC), grava arcillosa, índice de plasticidad de 11.0%, con límites de consistencia limite liquido de 31.4%, limite plástico 20.4%, con de compacidad densa, con bolonería de $T_{máx}=3"$, con humedad de 11.0%, marrón. Presenta una composición de gravas en 27.7%, arenas 23.4% y finos 48.9%.

Calicata C-06: 0.00 - 0.80 m. TURBA (Pt). Suelo altamente orgánico, con vegetación en la superficie, raíces estado de descomposición, de marrón a negro, muy húmeda. 0.80 - 1.50 m LIMO (MH), limo de alta plasticidad, índice de plasticidad de 18%, con límites de consistencia limite liquido de 55%, limite plástico 37%, de compacidad densa, con humedad de 53.3%, marrón, con bolonería de $T_{máx}=6"$. Presenta una composición de gravas en 18.2%, arenas 23.2% y finos 58.6%.

Calicata C-07: 0.00 - 1.00 m. TURBA (Pt). Suelo altamente orgánico, con vegetación en la superficie, raíces estado de descomposición, de marrón a negro. muy húmeda. 1.00 - 1.50 m. ARCILLA (CH), arcilla inorgánica de alta plasticidad, índice de plasticidad 32.9%, limite liquido 61.4%, limite plástico 28.5%, de compacidad densa, humedad 53.2%. Presenta una composición de gravas en 6.3%, arenas 3.5%, finos 90.2%.

Calicata C-08: 0.00 - 1.00 m. TURBA (Pt). Suelo altamente orgánico, con vegetación en la superficie, raíces estado de descomposición, de marrón a negro, muy húmeda. 1.00 - 1.40 m. ARCILLA (CH), arcilla inorgánica de alta plasticidad, índice de plasticidad 30.9%, consistencia densa, limite plástico 28%, húmeda, marrón. Presenta una composición de grava 0.8%, arena 2.8%, finos 96.4%.

Calicata C-09: 0.00 - 0.80 m. TURBA (Pt). Suelo altamente orgánico, con vegetación en la superficie, raíces estado de descomposición, de marrón a negro, muy húmeda. 0.80 - 1.40 m GRAVA (GC), grava arcillosa, índice de plasticidad 8.8%, de consistencia densa, limite liquido 26.9%, húmedo, marrón, con presencia de bolonería subredondeada $T_{max} = 4''$. Presenta una composición de gravas 29.7%, arenas 23.3%, finos 47%.

Calicata C-10: 0.00 - 0.10 m. ARENA (SM). Arena limosa, no presenta límites de consistencia. Presenta una composición de arenas 86.7% y finos 13.3%.

Calicata C-11: 0.00 - 0.80 m. TURBA (Pt). Suelo altamente orgánico, con vegetación en la superficie, raíces estado de descomposición, de marrón a negro, muy húmeda. 0.80 - 1.80 m LIMO (ML), limo inorgánico de baja plasticidad, índice de plasticidad 17.2%, de consistencia medianamente densa a densa, limite liquido 44.6%, húmedo, marrón, con presencia bolonería subredondeada $T_{max} = 4''$. Presenta una composición de grava 18.5%, arena 10.8%, finos 70.7%.

Calicata C-12: 0.00 - 0.20 m. TURBA (Pt). Suelo altamente orgánico, con raíces. 0.20 - 1.00 m ARCILLA (CL), arcilla inorgánica de baja plasticidad, índice de plasticidad 17.5%, de consistencia medianamente densa a densa, limite liquido 41.1%, húmedo, marrón, con presencia de bolonería subredondeada $T_{max} = 4''$. Presenta una composición de arena 4.5%, finos 95.5%.

Calicata C-13: 0.00 - 0.10 m. TURBA (Pt). Suelo altamente orgánico, con raíces. 0.10 - 3.00 m GRAVA (GC), grava arcillosa, índice de plasticidad 16.6%, de consistencia medianamente densa a densa, con limite liquido 38.5%, húmedo, marrón, con presencia de bolonería subredondeada $T_{max} = 4$ ". Presenta una composición de gravas en 39.7%, arenas 25.6% y finos 34.7%.

Calicata C-14: 0.00 - 0.50 m. GRAVA (GP-GC). Grava pobremente graduada y grava arcillosa, índice de plasticidad 13.7%, con limite liquido 31.7%, de compacidad suelta, seca, con bolonería $T_{max} = 8$ ". Presenta una composición de gravas 85.5%, arenas 7.5, % y finos 7%.

Calicata C-15: Roca maciza.

Calicata C-16: 0.00 - 0.60 m. TURBA (Pt). Suelo altamente orgánico, con vegetación en la superficie, raíces estado de descomposición, de marrón a negro, muy húmeda. 0.60 - 1.70 m ARCILLA (CL), arcilla inorgánica de baja plasticidad, índice de plasticidad 15%, con limite liquido 38.9%, de consistencia densa, húmeda, marrón, con bolonería subredondeada $T_{max} = 4$ ". Presenta una composición de gravas 20.6%, arenas 21% y finos 58.4%,

Calicata C-17: Roca maciza.

Calicata C-18: 0.00 - 0.10 m. TURBA (Pt). Suelo altamente orgánico, raíces estado de descomposición, muy húmeda, de marrón a negro.

4.3 Prospecciones Geofísicas

Para el ensayo de refracción sísmica se utilizó la estación portátil de Prospección Sísmica GEODE de 24 canales de registro, geófonos magnéticos y una computadora para almacenar datos.

En la zona de estudio, se realizó una línea de Refracción Sísmica, la línea sísmica LS-1 de 100 m de longitud, la separación entre geófonos fue de 4,0 m y los shots tuvieron una distancia de 4,0 m con respecto al primer y último geófono y de 2,0 m en los shots intermedios. En la Tabla 07 se puede visualizar los puntos de inicio y fin de los ensayos de refracción.

Tabla 7 Ensayos de Refracción Sísmica Ejecutados

Punto	Punto de Inicio		Punto de Final		Longitud Total
	Este* (m)	Norte* (m)	Este* (m)	Norte* (m)	
LS – 1	276,056	8'942,751	276,137	8'942,693	100

Notas:

*Coordenadas PSAD-56

El plano de ubicación de las líneas de los ensayos de refracción sísmica se puede ver en el Anexo D.

4.3.1 Perfil sísmico

Tabla 8 Perfil Sísmico LS-1

N° Capa	Espesor (m)	Vp (m/s)	Descripción
Capa 1	0.50 – 1.80	452	Material relleno medianamente denso.
Capa 2	9.50 – 13.50	1109	Suelo coluvial muy denso y/o roca muy fracturada y meteorizada.
Capa 3	-	3942	Roca en buenas condiciones y de alta resistencia.

Fuente:

INGEOTEST

En el Anexo G se presenta el Informe que contiene los perfiles sísmicos, dromocrónicas, registro de ondas de llegada.

4.3.2 Ripabilidad

Para determinar la ripabilidad del suelo de fundación se utilizó la Clasificación de Ripabilidad de Weaver, ver Figura 14.

De acuerdo a las ondas sísmicas Vs y la información geomecánica se procedió a calcular la ripabilidad obteniendo un valor de 48 siendo considerar un material difícil de ripar para lo cual se deberá considerar un equipo D8/D7.

Ver resultados en el Anexo H.

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

CLASE DE ROCA	I	II	III	IV	V
DESCRIPCIÓN	Roca muy buena	Roca buena	Roca media	Roca mala	Roca muy mala
VELOCIDAD SÍSMICA (m/s)	>2150	2150 – 1850	1850 – 1500	1500 – 1200	1200 - 450
Valoración	26	24	20	12	5
DUREZA	Roca extr. dura	Roca muy dura	Roca dura	Roca blanda	Roca muy blanda
Valoración	10	5	2	1	0
ALTERACIÓN	Sana	Ligeramente sana	Alterada	Muy alterada	Completamente alterada
Valoración	9	7	5	3	1
ESPACIO DE JUNTAS (mm)	> 3000	3000 – 1000	1000 – 300	300 – 50	< 50
Valoración	30	25	20	10	5
CONTINUIDAD DE JUNTAS	Discontinuas	Poco continuas	Continuas sin relleno	Continua con algún relleno	Continua con relleno
Valoración	5	5	3	0	0
RELLENO DE LAS JUNTAS	Cerradas	Algo separadas	Separación <1mm	Relleno <5mm	Relleno >5mm
Valoración	5	5	4	3	1
ORIENTACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO	Muy desfavorable	Desfavorable	Poco favorable	Favorable	Muy favorable
Valoración	15	13	10	5	3
VALORACIÓN TOTAL	100 – 90	90 – 70*	70 – 50	50 – 25	<25
VALORACIÓN DE LA RIPABILIDAD	Voladura	Ext. difícil de repar. Voladura	Muy difícil de repar	Difícil de repar	Fácilmente ripable
SELECCIÓN DE MAQUINARIA	—	DD9G/D9G	D9/D8	D8/D7	D7
POTENCIA (CV)	—	770/385	385/270	270/180	180
KW	—	575/290	290/200	200/135	135

* La puntuación por encima de 75 se considera como no ripable sin prevoladura

Ilustración 14 Clasificación de ripabilidad (Weaver)

4.4 Evaluación Geomecánica

4.4.1 Estaciones Geomecánicas

Consistió en el estudio del macizo rocoso y caracterización de sus propiedades, los puntos investigados se detallan en la Tabla 9. En el presente informe en el Anexo H se puede apreciar los parámetros geomecánico de cada estación.

Tabla 9 Estaciones Geomecánicas Evaluadas

Estación	Este*	Norte*	Observaciones
Geomecánica	(m)	(m)	
EG – 01	275,848	8'943,16	Roca Sedimentaria - Caliza
EG – 02	275,957	8'943,57	Roca Sedimentaria - Arenisca
EG – 03	275,911	8'944,15	Roca Sedimentaria - Arenisca
EG – 04	276,035	8'944,33	Roca Sedimentaria - Caliza
EG – 05	276,057	8'944,68	Roca Sedimentaria - Caliza
EG – 06	276,028	8'945,16	Roca Sedimentaria - Caliza
EG – 07	276,246	8'945,24	Roca Sedimentaria - Caliza
EG – 08	276,355	8'945,19	Roca Sedimentaria - Caliza
EG – 09	276,627	8'945,34	Roca Sedimentaria - Caliza

Notas:

*Coordenadas UTM PSAD-56

4.4.2 Macizo rocoso de cimentación

Para determinar los parámetros geotécnicos del macizo rocoso de la cimentación de los taludes, se analizaron las diferentes propiedades de sus componentes como la roca intacta, las discontinuidades y el macizo rocoso en conjunto.

4.4.2.1 Propiedades de la roca intacta

Para determinar las propiedades físicas y de resistencia de la roca intacta se realizó una campaña de investigación de laboratorio con ensayos de compresión simple, carga puntual y propiedades físicas.

Para estimar la resistencia a la compresión simple a partir del índice $I_s(50)$ se utilizó la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = FI_{s(50)}$$

En la que:

$I_s(50)$ = Índice de carga puntual corregido para un diámetro de muestra de 50mm en (MPa)

σ_c = Resistencia a la compresión simple estimada a partir del $I_s(50)$ en (MPa)

F = Factor de conversión

De acuerdo con investigaciones recientes (Hawkins, 1998 y Thuro, 2001), el factor F, puede variar entre 10 a 50; por lo que; en general se recomienda efectuar ensayos de compresión simple y de carga puntual por cada grupo de muestras con las mismas características, con el fin de determinar el factor de conversión.

Tabla 10 Estaciones Geomecánicas Evaluadas

Estación Geomecánica	Tipo de roca	$I_{s(50)}$ (MPa)	Compresión Uniaxial (MPa)	Promedio $I_{s(50)}$ (MPa)	Promedio de Compresión Uniaxial (MPa)	Factor F
EG-1	CALIZA	6.5	157.0975	5.42	130.33	24.04
EG-5	CALIZA	3.6	85.3625			
EG-7	CALIZA	2.6	61.87			
EG-8	CALIZA	7.8	187.87			
EG-9	CALIZA	6.6	159.4675	1.55	37.18	23.99
EG-2	ARENISCA	1.2	28.4925			
EG-3	ARENISCA	1.9	45.885			

Fuente:

INGEOTEST

4.4.2.2 Clasificación del macizo rocoso

Para evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas del medio donde será la línea de descarga norte se utilizó el principal sistema de clasificación geomecánica de macizos rocos, tal como RMR (Bieniawski 1989) y GSI (Hoek, 1995 modificado por Marino y Hoek, 2000)

4.4.2.2.1 Sistema de Clasificación RMR

Este sistema fue desarrollado por Bieniawski (1976) y revisado en el 1989. El sistema considera seis parámetros de clasificación (ver Tabla 11), la suma de estos parámetros da el índice RMR, como se indica en el cuadro siguiente:

Tabla 11 Parámetros de Clasificación

Parámetros de clasificación	Parámetros	Rango de valores
Resistencia Uniaxial de la roca intacta	A1	0 -15
Rock Quality Designation (RQD)	A2	3 -20
Espaciamiento de discontinuidades	A3	5 -20
Condición de las discontinuidades	A4	0 -30
Condiciones hidrogeológicas, agua subterránea	A5	
Ajuste por orientación de discontinuidades	B	(-12) - 0

Fuente:

INGEOTEST

La clasificación del macizo rocoso según el índice RMR se indica en la tabla 14

Tabla 12 Clasificación de RMR

Índice RMR	Clases	Calidad del Macizo Rcoso
81 – 100	A1	Roca muy buena
61 – 80	A2	Roca buena
41 – 60	A3	Roca regular
21 – 40	A5	Roca mala
< 20	B	Roca muy mala

Fuente:

INGEOTEST

4.4.2.2 Índice de Resistencia Geológica GSI

Hoek (1994) desarrollo la clasificación de macizo rocoso denominado GSI para evaluar la resistencia y módulo de deformación del macizo rocoso, según el criterio generalizado de falla Hoek-Brown. El sistema GSI se basa en la descripción de dos factores: la estructura del macizo rocoso que esta expresada por el grado de fracturamiento y las características intrínsecas de las discontinuidades.

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**







GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		SURFACE CONDITIONS				
From the description of structure and surface conditions of the rock mass, pick an appropriate Box in this chart. Estimate the average value of the Geological Strength Index (GSI) from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range of GSI from 36 to 42 is more realistic than stating that GSI=39. It is also important to recognise that the Hoek-Brown criterion should only be applied to rock masses where the size of individual blocks is small compared with the size of the excavation under consideration, when individual block sizes are more than approximately one quarter of the excavation dimension, failure will be structurally controlled and the Hoek-Brown criterion should not be used.		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces				
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE- Intact rock specimens or massive in-situ rock masses with very few widely spaced discontinuities	90 M/VG	M/G	NOT APPLICABLE		
	BLOCKY-very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets	80 B/VG	B/G	B/F	B/P	B/VP
	VERY BLOCKY-interlocked partially disturbed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	70 VB/VG	VB/G	VB/F	VB/P	VB/VP
	BLOCKY/DISTURBED-folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets	60 BD/VG	BD/G	BD/F	BD/P	BD/VP
	DISINTEGRATED-poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded rock pieces	50 D/VG	D/G	D/F	D/P	D/VP
	FOLIATED/LAMINATED/SHEARED- Thinly laminated or foliated and tectonically sheared weak rocks. Closely spaced schistosity prevails over other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness	N/A	N/A	FLS/F	FLS/P	FLS/VP
		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓				
		POOR Stippled, highly weathered surfaces with loose bedding or filling of angular fragments				
		VERY POOR Stippled, highly weathered surfaces with soft clay coatings or filling				

Ilustración 15 Clasificación de Macizo Rocoso - GSI

Los parámetros que intervienen en la clasificación de macizo rocoso fueron obtenidos de los ensayos de mecánica de rocas en el laboratorio, mapeos detallados de cada estación geomecánica.

4.4.2.3 Dominios Estructurales

Con el fin de tener dominios estructurales o zonas geotécnicas con características o propiedades más o menos uniforme, el macizo rocoso fue zonificado teniendo en consideración los siguientes aspectos: estructurales, geología, grado de fracturamiento (RQD), Índice RMR,

propiedades de resistencia de la roca intacta, discontinuidades. En la línea de descarga se encontró dos dominios de rocas principales. En la Tabla 13 se presenta un resumen de los índices de calidad representativos de cada estación geomecánica con su dominio estructural.

Tabla 13 Índices de calidad y dominio estructural de Estaciones Geomecánicas

Estación Geomecánica	Tipo de Roca	RMR	σ_i (MPa)	GSI
EG-1	CALIZA	67	157	62
EG-5	CALIZA	60	85	55
EG-7	CALIZA	57	62	52
EG-8	CALIZA	63	188	58
EG-9	CALIZA	61	159	56
EG-2	ARENISCA	58	28	53
EG-3	ARENISCA	55	45	50

Fuente:

INGEOTEST

4.4.2.4 Parámetros de resistencia del macizo rocoso

Las propiedades de resistencia del macizo rocoso difieren de la roca intacta, debido a que el primero presenta discontinuidades como diaclasas, fisuras, fallas, etc., siendo prácticamente imposible ejecutar ensayos de corte o de compresión triaxial en el mismo a una escala apropiada.

Por esta razón, se han definido criterios de fallamiento del macizo rocoso a partir de los índices de clasificación, siendo uno de ellos el criterio propuesto por Hoek & Brown (1988), actualizado por Hoek, Carranza-Torres y Corkum (2002).

Este criterio toma en consideración la resistencia de la roca intacta y las constantes “ m_b ”, “ s ” y “ a ”, las que se estiman en función de la estructura y la condición de las discontinuidades del macizo rocoso, estando representado por el índice de resistencia geológica GSI. La forma generalizada del criterio de fallamiento de Hoek – Brown es:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Dónde:

m_b , s y a son parámetros que dependen de las características del macizo rocoso y cuyo cálculo se detalla más adelante.

σ_{ci} es la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta y

σ'_1 , σ'_3 son los esfuerzos efectivos axial y de confinamiento principales respectivamente

Los parámetros m_b , s y a , se calculan mediante las siguientes fórmulas aplicables a macizos rocoso disturbados y no disturbados.

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\left(\frac{GSI}{15}\right)} - e^{-\left(\frac{20}{3}\right)} \right)$$

La variable m_i de la formula anterior es la constante de la roca intacta, el cual fue estimado mediante los ensayos de compresión triaxial realizados en el laboratorio.

D es un factor de daño que depende del grado de alteración al cual el macizo rocoso este sujeto al daño por efecto de la voladura y relajación de presiones. Este factor varía de 0 para macizos rocosos in-situ no alterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados.

Dado que muchos de los programas geotécnicos, en especial los de estabilidad de taludes, utilizan los parámetros del criterio de falla de Mohr-Coulomb; se han calculado los valores de la cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso siguiendo la metodología propuesta por Hoek (Hoek et.al 2002), la misma que relaciona los valores del esfuerzo normal y de corte con los esfuerzos principales. Estos parámetros fueron determinados con el programa RocLab 1.0 de RosScience.

Tabla 14 Parámetros Geomecánicos en Estaciones

Estación Geomec ánica	Tipo de Roca	GSI	Macizo Rocosó						
			Hoek – Brown			Mohr Coulomb		Mohr Coulomb (promedio)	
			mb	S	a	Cohesió n (c) Kpa	Ángulo de Fricció n Interna (f) °	Cohesió n (c) KPa	Ángulo De Fricción Interna (f) °
EG-1	CALIZA	62	0.833	0.0032	0.502	1448	50.37		
EG-5	CALIZA	55	1.604	0.0067	0.504	1108	51.96		
EG-7	CALIZA	52	1.441	0.0048	0.505	758	49.89	1571.2	52.622
EG-8	CALIZA	58	1.785	0.0094	0.503	2572	55.81		
EG-9	CALIZA	56	1.662	0.0075	0.504	1970	55.08		
EG-2	ARENISCA	53	3.546	0.0054	0.505	484	53.15		
EG-3	ARENISCA	50	3.186	0.0039	0.506	566	55.47	525	54.31

Fuente: INGEOTEST

4.5 Análisis de estabilidad

4.5.1 Criterio de Diseño

La evaluación de estabilidad física de los taludes de cada sección analizada se toma en cuenta factores de seguridad mínimos que verifican la estabilidad geotécnica a largo plazo, de acuerdo a lo establecido por la norma peruana.

Como criterios de diseño se consideraron como valores mínimos factores de seguridad de 1.5 para condiciones estáticas y 1.0 para condiciones pseudo-estáticas (MEM, 2009)

“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”

Se utilizó una aceleración horizontal máxima del terreno (PGA, por sus siglas en inglés) de 0.29 g, valor asociado a un periodo de retorno de 475 años, según lo recomendado en el “Estudio de Peligro Sísmico Probabilístico y Determinístico para la Planta Concentradora y el Puerto Punta Lobitos” realizado por Golder en el año 2009.

La evaluación en condiciones pseudo-estáticas considera un coeficiente sísmico horizontal cuyo valor es típicamente asumido como $\frac{1}{2}$ valor del PGA (MEM 2009).

Tabla 15 Resumen de Criterios de Diseño

Parámetros	Criterio Mínimo	Fuente	Comentarios
FOS Estático durante la construcción	≥ 1.5	MEM, 2009	Las pozas deben resistir las condiciones de carga estática (sin fuerzas externas adicionales)
FOS Estático durante las operaciones	≥ 1.5	MEM, 2009	Las presas deben resistir las condiciones de carga estática (sin fuerzas externas adicionales)
FOS Pseudo- Estático (Terremoto)	≥ 1.0	MEM, 2009	Incluyendo la carga para el mayor terremoto que puede ocurrir según la evaluación sísmica. (con fuerzas externas adicionales)
Presa Relaves	475 años de periodo de retorno	Golder, 2009	Data procedente del análisis específico del riesgo sísmico del sitio.
Aceleración Pico Horizontal del Suelo (APH)	0.29 g de aceleración	Golder, 2009	Data procedente del análisis específico del riesgo sísmico del sitio.
Aceleración de Diseño	0.15 g de aceleración	ngeotest	Aceleración aproximada equivalente al 50% del APH.

Fuente:

Estudio de Peligro Sísmico Probabilístico y Determinístico para la Planta Concentradora y el Puerto
Punta Lobitos – GOLDER

4.5.2 Metodología

4.5.2.1 Software de Modelación

Se evaluó la estabilidad de los taludes de las once (11) secciones usando los paquetes de software Slide Versión 6.004 de Roscience Inc. Slide fue usado para analizar la estabilidad de los taludes, tanto en condiciones estáticas como en pseudo-estáticas.

La estabilidad de los taludes fue evaluada con Slide, usando el método de Morgenstern-Price, que satisface tanto la fuerza y el momento de equilibrio, y un rango de superficies de búsqueda definido por el usuario (entrada y salida).

4.5.2.2 Secciones de Análisis

Las secciones evaluadas su ubicación según las progresivas de la línea de descarga las cuales se detallan a continuación:

Tabla 16 Cuadro de Secciones

Sección	Progresiva	Observación
Sección N°1	0+240 m	Línea Sísmica 1
Sección N°2	1+060 m	Estación Geomecánica 1
Sección N°3	1+530 m	Estación Geomecánica 2
Sección N°4	2+190 m	Estación Geomecánica 3
Sección N°5	2+500 m	Estación Geomecánica 4
Sección N°6	2+940 m	Estación Geomecánica 5
Sección N°7	3+340 m	Estación Geomecánica 6
Sección N°8	3+720 m	Estación Geomecánica 7
Sección N°9	3+830 m	Estación Geomecánica 8
Sección N°10	4+210 m	Estación Geomecánica 9

Fuente: INGEOTEST

Todas las secciones fueron evaluadas para condiciones de carga estáticas y pseudo-estáticas. Se analizó el talud aguas abajo y las márgenes inmediatas. Estos análisis se hicieron en cada sección.

4.5.2.3 Condiciones de Carga

4.5.2.3.1 Análisis Estático:

El análisis estático comprende la evaluación de los taludes en condiciones normales, es decir, considerando las cargas por peso propio de los materiales que lo conforman.

4.5.2.3.2 Análisis Pseudo-Estático:

Un análisis de estabilidad pseudo-estático es un método simplificado donde se aplica una carga sísmica aproximada a una fuerza horizontal constante representada por una aceleración pseudo-estática o fuerza de coeficiente sísmico. Los métodos pseudo-estáticos aplican una aceleración horizontal a la masa deslizante para simular la energía del sismo de diseño. Para este análisis, se ha considerado aproximadamente el 50% de la aceleración pico horizontal del suelo (APH), que es igual a 0.15g ($APH = 0.29g$) y fue usada de acuerdo a las metodologías pseudo-estáticas aceptadas por la industria y a los valores de aceleración recomendados en estudios anteriores (Golder, 2009).

4.5.2.4 Propiedades geotécnicas de los materiales

En base a los cálculos para determinar las propiedades resistentes de la roca, las propiedades de los materiales que son usados en los modelos para el análisis de estabilidad son presentadas en la Tabla 17.

Tabla 17 Propiedades de los materiales usados en los modelos de estabilidad

Descripción	Nombre del Material	Peso Unitario (Kn/m³)	Cohesión (kPa)	Angulo de Fricción (°)
Material 3B	Material 3B	21.60 ⁽¹⁾	0.00 ⁽¹⁾	37.00 ⁽¹⁾
Roca Caliza ⁽²⁾	Caliza	26.60 ⁽²⁾	66.71 ⁽²⁾	37.10 ⁽²⁾
Roca Arenisca ⁽³⁾	Arenisca	22.03 ⁽²⁾	44.00 ⁽²⁾	35.95 ⁽²⁾
Turba	Turba	11.00 ⁽³⁾	0.00 ⁽³⁾	15.00 ⁽³⁾
Grava Arcillosa	Grava Arcillosa	17.66 ⁽³⁾	0.00 ⁽³⁾	30.00 ⁽³⁾
Grava Pobrementa Graduada con Arcilla	GP-GC	18.64 ⁽³⁾	0.00 ⁽³⁾	32.00 ⁽³⁾
Limo	Limo	16.67 ⁽³⁾	9.80 ⁽³⁾	28.00 ⁽³⁾
Arcilla Orgánica	Arcilla Orgánica	17.65 ⁽³⁾	18.00 ⁽³⁾	20.00 ⁽³⁾
Arcilla Limosa	Arcilla Limosa	17.60 ⁽³⁾	0.00 ⁽³⁾	32.00 ⁽³⁾
Arcilla Inorgánica	Arcilla Inorgánica	17.65 ⁽³⁾	18.00 ⁽³⁾	25.00 ⁽³⁾

Nota:

[1]: Valores proporcionadas por el cliente en base al material de enrocado a colocar en la zona.

[2]: Valores conservadores propuestos por el consultor geotécnico en base a la experiencia en estudios de exploración en materiales similares.

[3]: Valores conservadores propuestos por el consultor geotécnico en base a la experiencia en estudios de exploración en materiales similares

4.5.3 Resultados de análisis de estabilidad

Los análisis de estabilidad utilizaron los resultados obtenidos en el análisis de infiltración de cada sección. Los resultados de los análisis de estabilidad muestran que los taludes satisfacen los factores mínimos de seguridad. En la tabla 18 y Tabla 19 se resumen los resultados del análisis de estabilidad de taludes en su estado inicial y proyectado respectivamente. En el Anexo H se pueden observar los análisis realizados.

Tabla 18 Resultados del Análisis de Estabilidad en su estado inicial

Descripción	FOS Estático	FOS Pseudo-Estático
SECCION N°1	2.260	1.785
SECCION N°2	0.786	0.573
SECCION N°3	5.342	3.498
SECCION N°4	2.391	2.127
SECCION N°5	3.368	2.306
SECCION N°6	2.728	1.941
SECCION N°7	2.910	2.109
SECCION N°8	2.392	1.836
SECCION N°9	2.027	1.570
SECCION N°10	1.690	1.331
SECCION N°11	1.535	1.250

Fuente:

INGEOTEST

Tabla 19 Resultados del Análisis de Estabilidad en su estado proyectado.

Descripción	FOS Estático	FOS Pseudo-Estático
SECCION N°1	2.479	1.828
SECCION N°2	2.969	2.136
SECCION N°3	3.179	2.106
SECCION N°4	3.964	2.962
SECCION N°5	3.436	2.356
SECCION N°6	2.429	1.862
SECCION N°7	3.009	2.150
SECCION N°8	2.924	2.085
SECCION N°9	2.113	1.637
SECCION N°10	1.691	1.339
SECCION N°11	1.520	1.247

Fuente:

INGEOTEST

4.6 Diseño Geotécnico de la Cimentación

4.6.1 Profundidad de cimentación

En la Tabla 20 se detalla la profundidad de cimentación a considerar según el material característico encontrado.

Tabla 20 Cuadro de Profundidad de Cimentación

Estructura	Material Característico	Condición de material de fundación	D_f (m)
Estructura de Llegada	Grava No compactada	Denso	1.50
	(GP-GC)		
Línea de Descarga	Grava Arcillosa (GC)	Medianamente Denso	1.00
	Limo o Arcilla Densa	Medianamente Denso	1.00
	Arenisca	Rígido	1.00
	Caliza	Rígido	1.00
Estructura de Salida	Caliza	Rígido	1.00

Fuente:

INGEOTEST

4.6.2 Parámetros de resistencia

Los parámetros de resistencia del terreno de fundación vienen representados por el ángulo de fricción interna (ϕ), la cohesión (c), el peso unitario volumétrico (γ), el módulo de elasticidad (E) y el coeficiente de Poisson (μ). Debido a la gran variación del material característico para la fundación de las estructuras de la Línea de Descarga Norte, los parámetros de resistencia se han clasificado de acuerdo a la estructura proyectada. Ver Tabla 21.

**Tabla 21 Propiedades de los materiales usados en los cálculos de capacidad de
carga.**

Estructura	Material Característico	f (°)	c (t/m²)	g (t/m³)	E (GPa)	m^[1] (-)
Estructura de Llegada	Grava No compactada (GP-GC)	32.00 ^[1]	0.00 ^[1]	1.90 ^[1]	0.100 ^[3]	0.30
	Grava Arcillosa (GC)	30.00 ^[1]	0.00 ^[1]	1.80 ^[1]	0.080 ^[3]	0.35
	Línea de Descarga	28.00 ^[1]	1.00 ^[1]	1.70 ^[1]	0.035 ^[3]	0.40
Estructura de Salida	Densa					
	Arenisca	35.95 ^[2]	7.50 ^[2]	2.24 ^[2]	1.000 ^[1]	0.25
	Caliza	37.10 ^[2]	6.80 ^[2]	2.61 ^[2]	1.000 ^[1]	0.25
	Caliza	37.10 ^[2]	6.80 ^[2]	2.61 ^[2]	1.000 ^[1]	0.25

Nota:

[1]: Valores conservadores propuestos por el consultor geotécnico en base a la experiencia en estudios de exploración en materiales similares.

[2]: Valores obtenidos en los resultados de laboratorio y que son mostrados en el Anexo F.

[3]: Valores recomendados por el especialista del cliente.

4.6.3 Capacidad de carga de la fundación

Las ecuaciones utilizadas para determinar la capacidad de carga del terreno de fundación (suelo o roca) están basadas en aproximaciones empíricas y semi-empíricas, la elección de la correcta ecuación que se debe utilizar dependerá del modo potencial de falla del suelo o roca, los cuales se muestran a continuación:

- a. Falla por Corte General (Material Denso)
- b. Falla por Corte Local (Material Medianamente Denso)
- c. Falla de corte por Punzonamiento (Material Suelto)

Para nuestro caso, debido a las condiciones del material encontrado en la etapa de exploración de campo, se ha considerado cimentar sobre un material denso (suelo) o rígido (roca), según sea el caso, por lo que el tipo de falla a considerar es del tipo corte general.

4.6.3.1 Evaluación de la Capacidad de Carga en Suelos

Para el cálculo de la capacidad de carga en suelos se ha utilizado el criterio de Terzaghi - Peck (1967) modificado por Vesic (1973), donde se considera un criterio de falla por corte general. La capacidad de carga será determinada con la siguiente ecuación:

$$q_{ult} = Sc.c.Nc + 1/2.S\gamma.\gamma.B.N\gamma + Sq.\gamma.D_f.Nq$$

Dónde:

c : Cohesión del suelo de fundación

D_f : Profundidad de desplante de la cimentación.

γ₁ : Peso específico del suelo encima del nivel de cimentación.

γ_2 : Peso específico del suelo debajo del nivel de cimentación.

B : Ancho de la cimentación.

N_c ; N_q ; N_γ : Factores de capacidad de carga.

S_c ; S_q ; S_γ : Factores de forma (Vesic - 1973).

Ver los resultados del cálculo en la Tabla 21.

4.6.3.2. Evaluación de la Capacidad de Carga en Rocas

A. Método de Terzaghi (1943)

La capacidad de carga última en rocas será determinada en base a la fórmula de Terzaghi (1943), esta ecuación considera una falla por corte general y es válida para cimentaciones con una relación $L/B < 10$. (L es la longitud mayor de la cimentación).

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot C_c + 1/2 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma C_\gamma + \gamma_1 \cdot D_f N_q$$

(Para $L/B < 10$)

Dónde:

c : Cohesión de la roca de fundación.

D_f : Profundidad de desplante de la cimentación.

γ_1 : Peso específico del relleno encima del nivel de cimentación.

γ_2 : Peso específico de la roca debajo del nivel de cimentación.

B : Ancho de la cimentación.

$N_c; N_q; N_\gamma$: Factores de capacidad de carga.

$C_\gamma; C_c$: Factores de corrección por forma.

Para cimentaciones rectangulares con relaciones L/B distintos se pueden determinar factores de corrección por interpolación lineal.

Por otro lado, para cimentaciones corridas, donde la relación $L/B > 10$, se asumirá un valor de $C_c = C_g = 1$. Luego, la capacidad de carga será determinada con la siguiente expresión:

$$q_{ult} = c \cdot N_c + 1/2 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma_1 \cdot D_f N_q$$

(Para $L/B < 10$)

B. Método de Serrano y Olalla (2001)

La capacidad de carga última en rocas según el criterio de Serrano y Olalla (2001) será determinado por la siguiente expresión:

$$q_{ult} = \beta \cdot (N_\beta - \zeta)$$

Donde:

$$\beta = \frac{m\sigma_{ci}}{8} \cdot e^{(RMR-100/28)}$$

$$\zeta = \frac{8}{m^2} \cdot e^{(RMR-100/25.2)}$$

$$N_\beta = f_{(\sigma_{01}^*)} \approx 13.573(\sigma_{01}^*)^{0.2261}$$

Ver los resultados del cálculo en la Tabla 21.

Capacidad de carga admisible

La capacidad de carga admisible del suelo o roca de fundación, calculados según el criterio de Terzaghi, será determinada según la siguiente expresión:

$$q_{adm} = q_{ult} / FS$$

Dónde:

q_{adm} : Capacidad de carga admisible.

q_{ult} : Capacidad de carga del suelo o roca.

FS : Factor de Seguridad

Por las condiciones y características del proyecto, se ha consideradora un $FS = 3$ para los cálculos de la capacidad de carga admisible del terreno de fundación.

La capacidad de carga admisible para la roca de fundación, calculados según el criterio de Serrano y Olalla, será determinada según la siguiente expresión:

$$q_{adm} = q_{ult} / FS$$

Dónde:

$$FS = F_p \cdot F_m$$

F_p : Factor que considera las variaciones estadísticas de los parámetros de la roca y la probabilidad de rotura del cimientto.

F_m : Cubre la posibilidad de que la rotura por fragilidad, de una parte, o de la totalidad del cimientto, no se ajuste al modelo de Hoek y Brown.

En el Anexo I se adjuntan los cálculos de la capacidad de carga según el material de fundación predominante. A continuación, en la Tabla 22 un resumen de los cálculos realizados:

Tabla 22 Resumen del cálculo de Capacidad de Carga.

Estructura	Material Característico	q_{adm} (kg/cm²) *Terzaghi*	q_{adm} (kg/cm²) *Serrano y Olalla*	Memoria
Estructura de Llegada	Grava No compactada (GP-GC)	3.21	-	MC-01
	Grava Arcillosa (GC)	0.62	-	MC-02
Línea de Descarga	Limo o Arcilla Densa	0.98	-	MC-03
	Arenisca	6.86	2.75	MC-04
	Caliza	7.35	2.30	MC-05
Estructura de Salida	Caliza	7.74	2.30	MC-06

Fuente:

INGEOTEST

4.5.4. Asentamiento

En los análisis de cimentación se distinguen dos clases de asentamientos, los asentamientos totales y los asentamientos diferenciales, siendo este último el asentamiento que podría comprometer la seguridad de la estructura si sobrepasa los valores mínimos tolerables según la Norma E-050 de Suelos y Cimentaciones.

El asentamiento de la cimentación se calculará en base a la teoría de la elasticidad planteada por Lambe y Whitman (1964), donde se asume que el esfuerzo neto transmitido es uniforme y equivalente a la capacidad de carga admisible del terreno de fundación (condición crítica). Este asentamiento, también denominado como asentamiento elástico inmediato, será calculado con la siguiente expresión:

$$S = \frac{q_s \cdot B \cdot (1 - \mu^2)}{E_s} \cdot I_f$$

Dónde:

S : Asentamiento elástico inmediato.

q_s : Esfuerzo neto transmisible.

B : Ancho de cimentación.

μ : Relación de Poisson.

E_s : Módulo de elasticidad del terreno de fundación.

I_f : Factor de influencia que depende de la forma y la rigidez de la cimentación. (Bowles 1977)

Las propiedades elásticas del terreno de fundación fueron asumidas de manera conservadora y en base a la experiencia del consultor geotécnico. Además, se ha considerado una cimentación tipo rígida para los cálculos de asentamiento.

En el Anexo J se adjuntan los cálculos del asentamiento esperado según el material de fundación predominante.

A continuación, en la Tabla 23 un resumen de los cálculos realizados:

Tabla 23 Resumen del Cálculo de Asentamientos.

Estructura	Material Característico	S Centro (mm)	S Diferencial (mm)	Memoria
Estructura de Llegada	Grava No compactada (GP-GC)	4.09	3.06	MC-01
	Grava Arcillosa (GC)	1.20	0.90	MC-02
Línea de Descarga	Limo o Arcilla Densa	1.77	1.33	MC-03
	Arenisca	0.99	0.74	MC-04
	Caliza	1.06	0.79	MC-05
Estructura de Salida	Caliza	1.30	0.97	MC-06

Fuente:

INGEOTEST

4.7 Caracterización Química

Con el objetivo de analizar el material ubicado en la cimentación proyectada de la línea de descarga norte, se realizó la predicción de la generación de sales, cloruros, sulfatos y base

ácida a partir de ensayos de laboratorio denominados ensayos químicos de suelos y ácido/base que simulan las reacciones que experimentarán los materiales cuando entran en contacto con el medio ambiente (condiciones climáticas principalmente) e inicien un complejo mecanismo de oxidación que pueden terminar generando drenajes ácidos.

En la **Tabla 24** y **Tabla 25** se indica los resultados obtenidos.

Tabla 24 Resultado de los ensayos químicos.

Muestra	Profundidad (m)	Coordenadas UTM PSAD 56		Sulfatos Solubles en suelos ppm	Cloruros Solubles ppm	Sales Solubles Totales ppm
		Este (m)	Norte (m)			
C-01	1.5	276,051	8'942,582	549	44.97	324.1
C-04	1.1	275,830	8'942,878	205	147.32	593.9
C-06	1.5	275,704	8'943,178	216	169.03	1025.8
C-08	1.4	275,885	8'943,792	288	222.86	1320.4
C-12	1.4	276,004	8'944,464	375	114.68	162.2
C-15	0.0	276,076	8'945,024	416	125.17	588.3
C-18	0.1	276,618	8'945,361	257	163.22	1259.5

Fuente:

INGEOTEST

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

Tabla 25 Resultados del conteo ácido-base de muestras obtenidas.

Muestra (profundidad)	pH	NP CaCO3 kg/t	MPA CaCO3 kg/t	PNN CaCO3 kg/t	Relación NP/MPA	Sulfuro %S	SO4 % S
C-01	7.78	425.88	0.57	745.3	< 0.02	16.28	16.28
C-04	7.95	407.04	0.21	906.8	< 0.02	21.64	21.64
C-06	7.3	20.81	0.22	92.6	< 0.02	14.27	14.27
C-08	5.97	3.30	0.30	11.0	< 0.02	13.18	13.18
C-12	5.82	4.57	0.39	11.7	< 0.02	15.02	15.02
C-15	7.47	346.73	0.43	800	< 0.02	29.83	29.83
C-18	7.54	24.16	0.27	90.4	< 0.02	13.41	13.41

Fuente:

INGEOTEST

En el Anexo K se pueden ver el Informe de Caracterización Química donde se detallan los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

Los cálculos y consideraciones tenidas en el presente informe, se han inclinado en base a la exploración de campo, a los resultados de laboratorio y a la experiencia del consultor geotécnico.

En base a los resultados obtenidos en los cálculos de capacidad de carga y asentamiento, se concluye que en todos los casos estos valores están dentro de los valores admisibles según se recomienda en la N.T.P. E-050 de Cimentaciones. A continuación, en la Tabla 26 un cuadro resumen de resultados:

Tabla 26 Resultados de capacidad de carga y asentamiento.

Estructura	Material Característico	q_{adm} (kg/cm²) Terzahi	q_{adm} (kg/cm²) Serrano y Olalla	S_{Centro} (mm)	S Diferencial (mm)	Memoria
Estructura de Llegada	Grava No compactada (GP-GC)	3.21	-	4.09	3.06	MC-01
	Grava Arcillosa (GC)	0.62	-	1.20	0.90	MC-02
Línea de Descarga	Limo o Arcilla Densa	0.98	-	1.77	1.33	MC-03
	Arenisca	6.86	2.75	0.99	0.74	MC-04
	Caliza	7.35	2.30	1.06	0.79	MC-05
Estructura de Salida	Caliza	7.74	2.30	1.30	0.97	MC-06

Fuente:

INGEOTEST

Los valores de la tabla anterior servirán de respaldo para los cálculos y diseños estructurales, sin embargo, se recomienda trabajar con la tabla de valores de capacidades de carga obtenidos en cada evaluación y son mostrados en el Anexo J del presente documento.

Es preciso indicar, que los valores obtenidos en la tabla anterior (cuadro de resumen de resultados) solo son válidos para el tipo de material encontrado según la condición de exploración del proyecto. En otros escenarios y/o otras zonas que no abarca el presente estudio, no se recomienda usar dichos valores.

Los análisis de estabilidad tanto estático como pseudo - estático cumple con los parámetros mínimos por lo cual es estable a lo largo de toda la línea de Descarga Norte.

La presencia de sulfatos solubles no ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación, al presentar valores de límite permisible en el rango de 0 a 1000 p.p.m que se califica como grado de ataque leve. Siendo el valor máximo encontrado 549 p.p.m. correspondiente a la muestra extraída de la calicata C-01.

La presencia de cloruros solubles no ocasiona problemas de corrosión de armadura y elementos metálicos, al presentar valores muy por debajo del límite permisible (>6000 p.p.m.) siendo el valor máximo encontrado 222.86 p.p.m. correspondiente a la muestra extraída de la calicata C-08. La presencia de sales solubles totales es No Perjudicial, no ocasiona problemas de pérdida de la resistencia mecánica por problema de lixiviación, al presentar valores muy por debajo del límite permisible (>15000 p.p.m.) siendo el valor máximo encontrado 1320.4 p.p.m. correspondiente a la muestra extraída de la calicata C-08.

“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”

Las muestras extraídas de las calicatas C-01, C-04, C-06, C-15 y C-18 se encuentran en el rango de No Generador de Acidez según los criterios de valoración NP/AP y para la valoración NNP las muestras C-08 y C-12 corresponden a un valor Incierto, mientras que según el criterio %S las muestras C-01, C-04, C-06, C-08, C-12, C-15 y C-18 se trata de material No Generador de acidez, se concluye que el material analizado es No Generador de Acidez.

Un 71% de la longitud del trazo de la línea se halla sobre superficies rocosas o con escasa cobertura de suelos. El 29% restante se halla sobre suelos. Las rocas que hay son calizas y areniscas de la formación Celendín. Entre los suelos predomina del tipo aluvial y en menor proporción morrénico, fluvio-glaciario y antrópico.

El nuevo trazo para la línea de Descarga Norte presentó buenas condiciones geológicas y geotécnicas.

Los valores de capacidad portante permisible son buenos

RECOMENDACIONES

Para el diseño de concreto se recomienda usar un cemento Portland tipo I así como mantener una relación agua cemento máxima $a/c = 0.5$.

Para la elaboración del concreto se deberá usar agua potable, de ninguna manera se usará agua proveniente de residuos mineros y efluentes naturales de condiciones no conocidas.

Los equipos de ripabilidad requerido de acuerdo son D8/D7 con potencia 270/180 de kw 200/135.

BIBLIOGRAFÍA

- Arbaiza L. (2014). Como elaborar una tesis de Grado. Universidad ESAN. Lima, Perú.
- Cabrera T. (2012). “Control Geológico del Mineral en Producción – Compañía Minera Antamina”. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Cobbing, J., Sanchez, A., Martinez, W., Zárate, Héctor et al (1996). Boletín N° 76: Geología de los Cuadrangulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca. Lima, Perú. Primera Edición, Impreso en INGEMMET.
- Compañía Minera Antamina S.A. (2018) Notas sobre los Componentes de la Mina Antamina. Recuperado el 20 de octubre del 2018 en: <https://www.antamina.com/sobre-antamina/nuestras-operaciones/componentes-de-la-mina/>
- Golder Associates (2015). Ingeniería Básica y Detalle del Sistema de Bombeo de Relaves, Línea Norte y Sur – Elevación 4165, Lima, Perú.
- Hernandez , R., Fernández. C& baptista. P. (2010). Metodología de la investigación. Mexico D.F.: México McGraw – Hill.
- HOEK E. y BROWN E. Excavaciones subterráneas en roca. McGraw Hill, Londres, 1980.
- Huamán R. (2017). “Geotecnia de Inestabilidad de Taludes, en el tramo de la carretera Huañiba – Cungunday, Cajamarca, Cajabamba”. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Kothari, C. R. (2004). Research methodology: Methods & techniques (2. a ed.). Nueva Delhi: new Age internacional Publisher.

- Ministerio de Vivienda (2018). Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, Perú.
- Ministerio de Energía y Minas (1998). Notas sobre el estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Antamina. Recuperado el 10 de Octubre del 2018 en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/estudios/antamina/proyectoantamina.htm>.
- Suyo E. (2017). “Modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras de líneas de transmisión eléctrica”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Tesis de Posgrado, Lima, Perú.
- GONZALEZ DE VALLEJO L. Ingeniería Geológica, Prentice Hall, España, 2002.
- Parker H., AMEC Report Antamina Exploration, 1998.
- Portal T. (2017) “Estudio geofísico por el método de Refracción Sísmica y Masw para el mejoramiento y ampliación de cinco puentes en la región Junín”. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Rojas K. (2016). “Estudio geológico – geotécnico para la cimentación del puente sobre la quebrada Tungani en la vía Carimanga – Lucero – Río Pindo (KM 27+100) En la parroquia El Lucero canto Calvas Provincia de Loja - Ecuador”. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Sallago A. (2010). “Estudio geológico y geotécnico para la estabilidad de las torres de alta tensión entre las subestaciones Huallanca – Quitarasca, Provincia de Huaylas - Departamento de Ancash”. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Suarez J. (2009). Deslizamientos, Tomo 2: Técnicas de Remediación. Universidad Industrial Santander, Colombia.

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

ANEXOS

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

Anexo A: Cronograma del Proyecto

Anexo B: Costos y Presupuestos

“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA ANTAMINA, DISTRITO. DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”

ANEXO B Presupuesto									
Proyecto:	"ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCO, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH"								
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD ESTIMADA	HORAS HOMBRE ESTIMADAS (H-H)	COSTO MATERIAL UNITARIO (US\$) (1)	COSTO INSTALACIÓN UNITARIO (US\$) (2)	COSTO EQUIPO UNITARIO (US\$) (3)	COSTO UNITARIO TOTAL (1+2+3)	SUB TOTAL (US\$)
1.0	GENERAL								3,258.44
1.1	Movilización y desmovilización de equipos y herramientas	glb.	1.00	-	1,500.00	-	320.00	1,820.00	1,820.00
1.2	Inducción y exámenes médicos	glb.	1.00	-	73.53	300.00	1,064.91	1,438.44	1,438.44
2.0	SERVICIO								20,307.21
2.01	Perfiles de refracción sísmica (01 Línea)	m	100.00	-	-	5.75	2.79	8.54	854.00
2.02	Estaciones MASW aisladas - no solicitado	und	-	-	-	260.00	163.00	423.00	-
2.03	Ejecución de calicatas superficiales de 3.00 m - manual/equipo	und	18.00	300.00	-	150.00	150.00	300.00	5,400.00
2.04	Ensayo de Penetración dinámica ligera max.5.00m prof.	und	18.00	30.00	10.00	87.50	54.38	151.88	2,733.84
2.05	Ensayo de Densidad In Situ	und	10.00	6.00	1.20	25.00	26.25	52.45	524.50
2.06	Estaciones Geomecánicas (incluye ensayo carga puntual)	und	9.00	20.00	32.35	200.00	20.00	252.35	2,271.15
2.07	Clasificación SUCS	und	18.00		38.24	-	-	38.24	688.32
2.08	Contenido de humedad	und	18.00		Se incluye en clasificación SUCS			-	-
2.09	Propiedades físicas	und	9.00		64.72	-	-	64.72	582.48
2.10	Corte Directo	und	7.00		102.94	-	-	102.94	720.58
2.11	Triaxial CD	und	2.00		705.88	-	-	705.88	1,411.76
2.12	Análisis Químico	und	7.00		389.94	-	-	389.94	2,729.58
2.13	Informe final e interpretación geofísica y geotécnica.	glb.	1.00				-	1,050.00	1,050.00
2.14	Ejecución de trinchera de 1.00 m profundidad	und	2.00		3.00	350.00	317.50	670.50	1,341.00
3.0	ELEMENTOS DE SEGURIDAD								1,099.50
3.1	Suministro e instalación de elementos de seguridad y demarcac	Glb	1.00		190.00	900.00	9.50	1,099.50	1,099.50
E	Costo Directo Total (US\$)								24,665.15
F	Gastos Generales y Administrativos ..% (US\$) (% DE ITEM E)								2,487.00
G	Gastos de Alimentación y Hospedaje (US\$)								1,740.00
H	Total General (US\$) (ITEM E + ITEM F +...+ ITEM H)								28,892.15
NOTAS	Estos precios NO incluyen el I.G.V.								

C3:

Anexo C: Matriz General de Consistencia

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA ANTAMINA, DISTRITO. DE SAN MARCOS,
PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

ANEXO C MATRIZ GENERAL DE CONSISTENCIA

**“Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte de la Mina Antamina, distrito de San Marcos, Provincia de Huari,
Dpto. ANCASH”**

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DISEÑO METODOLOGICO
<p><u>Problema general</u></p> <p>¿Conocer mediante el estudio de investigaciones geológicas y geotécnicas los parámetros del material del área de estudio necesarios para reubicar el trazo de la línea de descarga norte, de la Mina Antamina?</p>	<p><u>Objetivo general</u></p> <p>Realizar una evaluación geológica - geotécnica que permitan definir una cimentación adecuada y estabilidad física sobre el nuevo trazo de la Línea de Descarga Norte.</p> <p><u>Objetivos específicos</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar la caracterización de la geología local y regional. 2. Ejecutar prospecciones geotécnicas, ensayos in situ y ensayos de laboratorio. 3. Evaluar estaciones Geomecánicas. 4. Ejecutar e interpretar prospecciones geofísicas. 5. Determinar la capacidad admisible en suelo y roca. 6. Analizar la estabilidad física del trazo de la línea de descarga. 7. Realizar el diseño de cimentaciones de las estructuras proyectadas. 8. Analizar la agresividad química del material de fundación. 	<p><u>Hipótesis general</u></p> <p>Con la correcta evaluación geológica y geotécnica se puede definir una cimentación y estabilidad física adecuada para el nuevo trazo de la línea de descarga norte.</p> <p><u>Hipótesis específicas</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Las investigaciones geológicas permitirán conocer una parte de las condiciones del área de estudio. 2. Las investigaciones geotécnicas permitirán conocer los parámetros del material que ayudarán a definir una cimentación y estabilidad física adecuada para el nuevo trazo de la línea de descarga norte. 	<p><u>Variable independiente:</u></p> <p align="center"><u>X</u></p> <p>X1=Evaluación Geológica</p> <p>X2=Evaluación Geotécnica</p> <p><u>Variable dependiente:</u></p> <p align="center"><u>Y</u></p> <p>Y1: Análisis de estabilidad y diseño geotécnico de la cimentación.</p>	<p><u>Tipo de Investigación</u></p> <p>Investigación cuantitativo, descriptivo y explicativo.</p> <p><u>Diseño de la Investigación</u></p> <p>Diseño experimental</p> <p><u>Población</u></p> <p>Esta compuesta por 18 calicatas, 02 trincheras y 09 estaciones geomecánicas ubicadas en el área de estudios.</p> <p><u>Muestra</u></p> <p>Se seleccionaron muestras representativas de las 18 calicatas y fueron llevadas al laboratorio de Mecánica de Suelos.</p> <p><u>Técnicas en recolección.</u></p> <p>Se usarán imágenes satelitales, coordenadas en campo, se tomarán muestras para ejecutar ensayos según la norma American Society For Testing and Materials (ASTM).</p> <p><u>Instrumento</u></p> <p>Planos topográficos y geológicos.</p> <p>Picota, wincha, brújula Brunton, lupas, tablas geomecánicas, laptops, software de modelamiento, equipo sísmico, geoda, etc.</p>

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA
MINA ANTAMINA, DISTRITO. DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

Anexo D: Planos

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

Anexo E: Registro de Campo

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



REGISTRO DE CALICATAS

Cliente	COMPAÑIA MINERA ANTAMINA S.A.	CALICATA N°	T-01		
Proyecto	Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte	Coordenadas	276,082.00	8,942,601.00	
Ubicación	Yancacancha	Dimensiones	ancho: 1.00 m	largo: 3.00 m	prof.: 1.10 m
Fecha Excavación	11-Feb-2017	Nivel Freático	N/E		
Fecha Loggeo	-	Excavación	Manual		
Registrado por	Alberto Sanchez M.	Lev. Topografico	Antamina		
		Clima	Templado		

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN		ENSAYOS			NÚMERO DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN
	USCS	SMOLÓGIA	PENETRÓMETRO ágrico	DENSIDAD NATURAL gr/cm ³	HUMEDAD %		
0.5	GP		-	-	-	-	0.00 - 0.50 m GRAVA (GP), grava pobremente gradada, color gris, seco, con partículas angulosas, compactad suelta TM < 8°.
1.0			-	-	-	-	0.50 - 1.10 m ENROCADO, bolonera mayor a 24".
1.5	Fin de excavación, contacto con roca						
2.0							
2.5							
3.0							
3.5							
4.0							
4.5							
5.0							
5.5							
6.0							

OBSERVACIONES:

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



REGISTRO DE CALICATAS

Cliente	COMPAÑIA MINERA ANTAMINA S.A.	CALICATA N°	T-01		
Proyecto	Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte	Coordenadas	276,082.00	8,942,601.00	-
Ubicación	Yancacocha	Dimensiones	ancho: 1.00 m	largo: 3.00 m	prof.: 1.10 m
Fecha Excavación	11-Feb-2017	Nivel Freático	N/E		
Fecha Loggeo	-	Excavación	Manual		
Registrado por	Alberto Sanchez M.	Lev. Topografico	Antamina		
		Clima	Templado		



Foto 1. Vista panorámica



Foto 2. Vista del material



Foto 3. Vista de paredes de calicata



Foto 4. Vista del fondo de la calicata

OBSERVACIONES:

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



SERVICIO N° : 17001

**ENSAYO DE PENETRACION LIGERA (DPL)
(NTP 339.150, DIN 4020)**

DATOS DEL PROYECTO			
Proyecto	Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte	Fecha de Inicio	11-Feb-17
Ubicación	Yanacancha-Ancash	Fecha de Término	11-Feb-17

DATOS DEL ENSAYO			
Sondaje	-	Norte	8,942,585.00
Ensayo	DPL-1	Este	278,045.00
Ejecutado por	Gerson Medina	Elevación	4166 m.s.n.m

REGISTRO DE PERFORACION						
Prof.	N ₁₀	Prof.	N ₁₀	Prof.	N ₁₀	Golpes 10 cm de prof. de penetración, N ₁₀
0.10	50+	3.10	-	6.10	-	<div><div><div>000</div></div></div>

Observaciones: Contacto con superficie rocosa.

- (---) Movimiento giratorio del varillaje: F → Fácil, MD → Medianamente Difícil, D → Difícil

- El ensayo en referencia se ejecutó a partir de 0.0 m de la superficie de terreno, nivel de referencia 0.0 m.

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Jr. Los Lirios N° 530, Urb. San José, Lima 10, Perú
Tel: 719-6296 Cel. 990-601- 511 RPM #095150
informes@ingetest.com www.ingetest.com

**DENSIDAD IN SITU - METODO DEL REEMPLAZO CON AGUA
ASTM D 5030**

Solicitante: Compañía Minera Antamina S.A. Fecha del Reporte: 1-Mar-2017
Proyecto: Estudio Geológico Geotécnico para la reubicación de la línea de descarga Norte
Realizado por: Gerson Medina Revisado por: Alberto Sanchez

Ensayo No.					
Fecha del Ensayo		10-Feb-2017	10-Feb-2017	10-Feb-2017	
Calicata/Sondaje		C-01	C-04	C-06	
Ubicación					
Progresiva	m				
Elevación	msnm				
DENSIDAD NATURAL					
Peso del recipiente + suelo	gr.	6,117.9	6,699.6	3,465.4	
Peso del recipiente	gr.	20.0	20.0	20.0	
Peso del suelo	gr.	6,097.90	6,679.60	3,445.44	
Peso del balde + agua	gr.	8,401.0	8,508.0	8,427.0	
Peso del balde	gr.	-	-	-	
Peso del agua	gr.	3,201.0	3,256.0	2,328.0	
Cantidad de baldes+agua	unid	5,200.0	5,252.0	6,099.0	
Densidad del agua	gr/cm ³	1.0	1.0	1.0	
Volumen de agua en la calicata	cm³	3,201.0	3,256.0	2,328.0	
Densidad húmeda	gr/cm³	1.905	2.051	1.480	
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Peso de la tara + suelo húmedo	gr.	7,127.9	7,722.0	4,486.3	
Peso de la tara + suelo seco	gr.	6,897.8	7,162.5	3,194.3	
Peso del agua	gr.	230.1	559.5	1,292.0	
Peso de la tara	gr.	1,030.0	1,044.6	1,040.9	
Peso del suelo seco	gr.	5,867.8	6,117.9	2,153.4	
Contenido de Humedad	%	3.92	9.15	60.00	
Densidad seca	gr/cm³	1.833	1.880	0.925	

Observaciones

Anexo F: Resultados de Laboratorio

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Jr. Los Lirios N° 530, Urb. San José, Lima 10, Perú
Telf. 719-6296 Fax 718-6400
informes@ingetest.com www.ingetest.com

ENSAYOS DE CARACTERIZACION FISICA

(ASTM D 422, D 4318, D 2216, D 2487, D 3282, C 117)

Informe	17D0422-009-001	Fecha	25-Feb-2017
Solicitante	Compañía Minera Antamina S.A.	Calicata	C - 01
Proyecto	Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte	Muestra	-
Ubicación	U.M Antamina - Ancash	Profundidad (m)	1.50

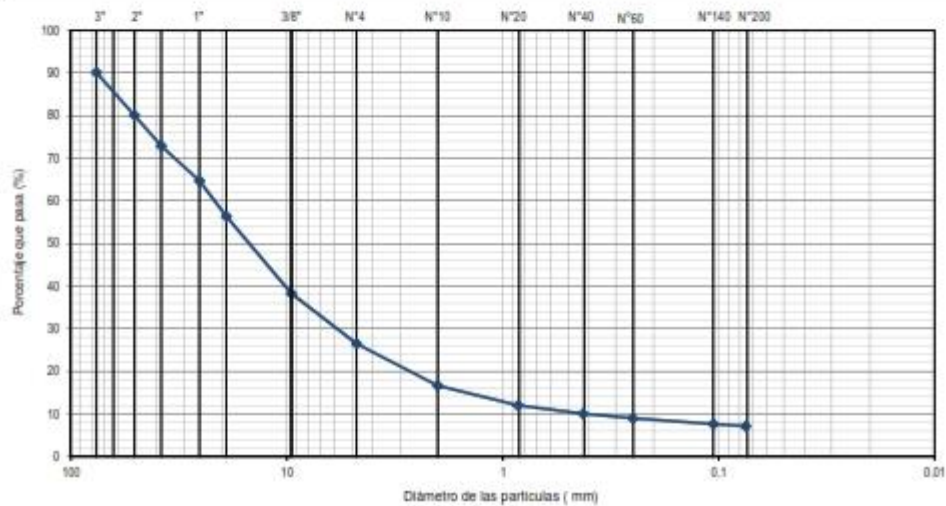
Granulometría por Tamizado - ASTM D422		
Tamiz	Abertura mm	% Acum. que Pasa
3"	76.200	90.1
2"	50.800	80.1
1 1/2"	38.100	72.9
1"	25.400	64.7
3/4"	19.050	56.4
3/8"	9.525	38.3
N°4	4.750	26.5
N°10	2.000	16.7
N°20	0.850	12.0
N°40	0.425	10.0
N°60	0.250	9.0
N°140	0.106	7.6
N°200	0.075	7.1

Límites de Consistencia - ASTM D4318		
Límite Líquido	%	18.2
Límite Plástico	%	12.3
Índice de Plasticidad	%	5.9

Contenido de Humedad - ASTM D2216	
Humedad	% 3.9

Clasificación SUCS / AASHTO ASTM D2487	
SUCS	GP GC
AASHTO	-

Coefficiente de Uniformidad	C_u	52.0
Coefficiente de Curvatura	C_c	4.16
Grava	%	73.5
Arena	%	19.4
Finos	%	7.1



**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Jr. Los Lirios N° 530, Urb. San José, Lima 10, Perú
Telf. 719-6296 Fax 718-6400
informes@ingetest.com www.ingetest.com

**LIMITES DE CONSISTENCIA
(ASTM D 4318)**

Informe	17D4318-009-001	Fecha	25-Feb-2017
Solicitante	Compañía Minera Antamina S.A.	Calicata	C - 01
Proyecto	Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte	Muestra	-
Ubicación	U.M Antamina - Ancash	Profundidad (m)	1.50

DIAGRAMA DE FLUIDEZ

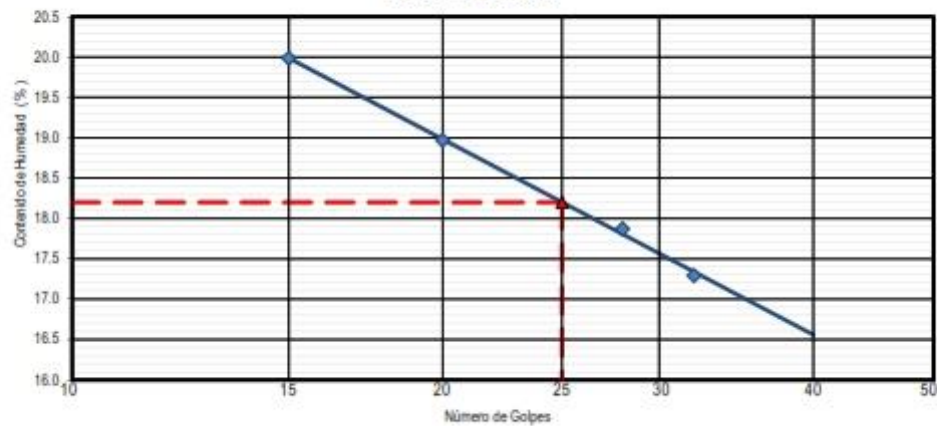
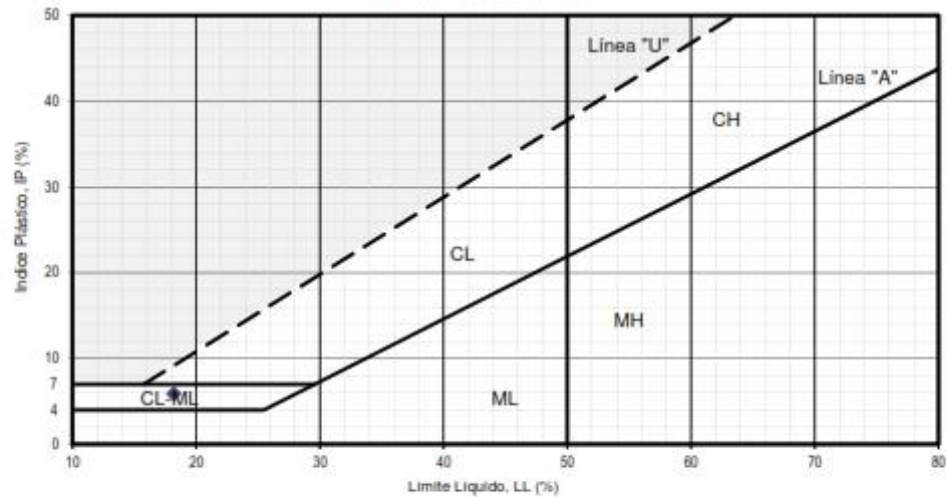


DIAGRAMA DE PLASTICIDAD



Límites de Consistencia			
Límite Líquido	(LL)	%	18.2
Límite Plástico	(LP)	%	12.3
Índice de Plasticidad	(IP)	%	5.9

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Jr. Los Lirios N° 530, Urb. San José, Lima 10, Perú
Telf. 719-6296 Cel. 990-601-511
informes@ingetest.com www.ingetest.com

**Ensayo de Corte Directo
(ASTM D 3080)**

Informe 17D3080-009-001

Solicitante Compañía Minera Antamina S.A.

Proyecto Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte

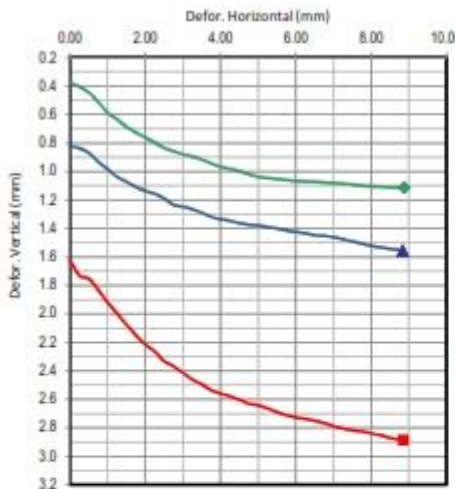
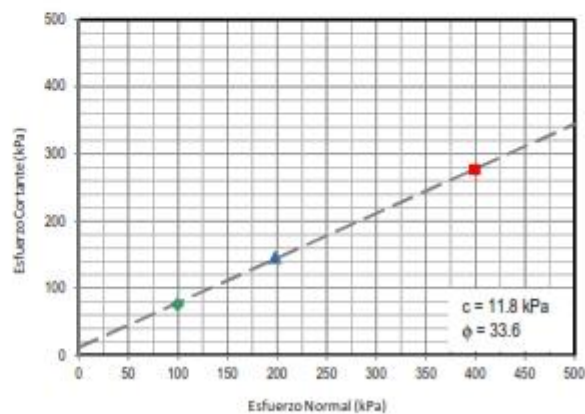
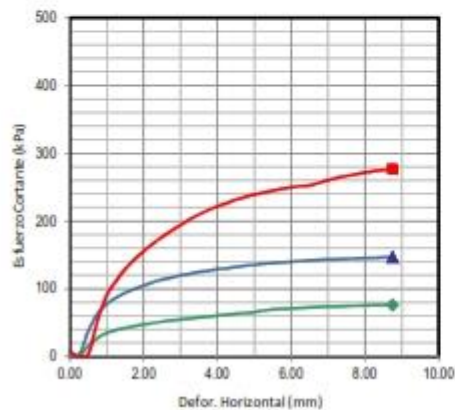
Ubicación U.M Antamina - Ancash



Fecha 25-Feb-17

Calicata C - 04

Muestra 1.10

Profundidad -



Simbolo					
Ensayo N°		01	02	03	
Muestra		Remold.	Remold.	Remold.	
Forma		Circular	Circular	Circular	
Físico	Diámetro	mm	63.5	63.5	63.5
	Area	mm ²	3,166.9	3,166.9	3,166.9
	Altura	mm	25.4	25.4	25.4
	Contenido de humedad	%	9.2	9.2	9.2
	Densidad Seca	N/m ³	18,426	18,426	18,426
	Saturación	%	56.6	56.6	56.6
	Relación de vacíos		0.44	0.44	0.44
Altura de Consolidación	mm	25.1	24.6	23.9	
Relación de vacíos de Consolidación		1.68	1.48	1.27	
Líquido	Contenido de humedad	%	13.8	12.8	10.1
	Densidad Seca	N/m ³	19,268	19,623	20,781
	Saturación	%	99.8	99.2	99.1
	Relación de vacíos		0.37	0.35	0.27
	Esfuerzo Normal	kPa	99.5	197.8	399.8
Esfuerzo Cortante Max.	kPa	75.8	146.4	276.6	
Velocidad de Desplazamiento	mm/min	0.5	0.5	0.5	
Gravedad Especifica Asumida		2.70	2.70	2.70	
Limite Liquido	%	32.8			
Limite Plástico	%	15.8			
Indice de Plasticidad	%	17.0			
Clasificación SUCS	%	GC			

Observaciones:

Los parámetros de resistencia del suelo del presente informe, podrán ser reinterpretados en caso de ser considerado pertinente por un profesional especialista en geotecnia.

Densidad Seca = 1.88 gr/cm3 y Contenido de Humedad = 9.2 %.

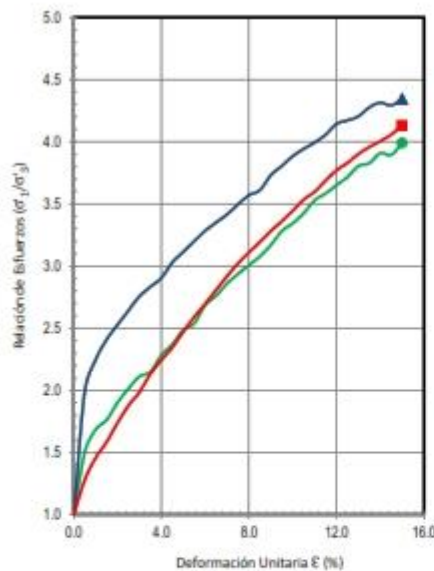
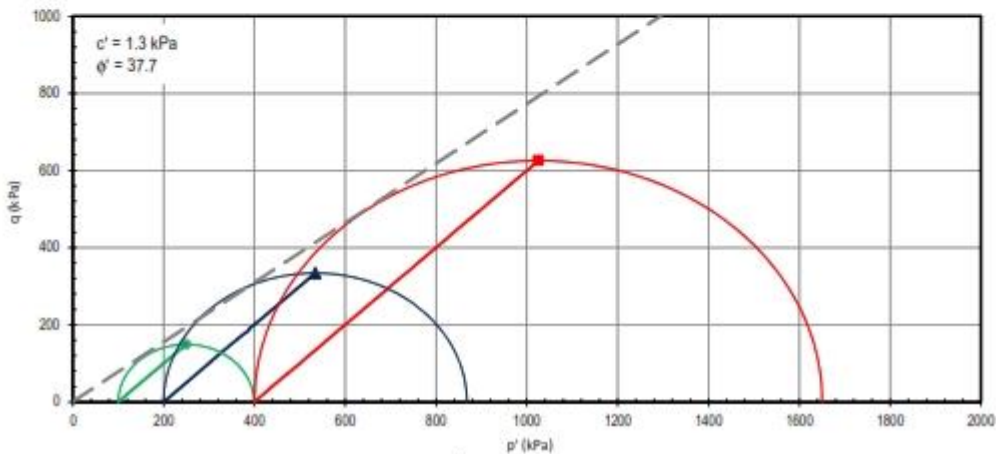
**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**






Jr. Los Lirios N° 530, Urb. San José, Lima 10, Perú
Telf. 719-6296 Cel. 990-601-511
informes@ingetest.com www.ingetest.com

**Ensayo de Compresión Triaxial
Consolidado - Drenado (CD)
(ASTM D 7181)**

Informe	17D7181-009-001	Fecha	28-Feb-2017
Solicitante	Compañía Minera Antamina S.A.	Calicata	C-01
Proyecto	Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte	Muestra	-
Ubicación	U.M Antamina - Ancash	Prof. (m)	1.50



Símbolo					
Ensayo N°		01	02	03	
Muestra		Remoldeado			
Inicio	Diámetro	mm	101.6	101.6	101.6
	Altura	mm	206.0	206.0	206.0
	Contenido de humedad	%	3.9	3.9	3.9
	Densidad Seca	N/m ³	17,977	17,977	17,977
	Saturación	%	22.4	22.4	22.4
	Relación de vacíos		0.473	0.473	0.473
Antes del Corte	Contenido de humedad	%	17.0	16.9	16.3
	Densidad Seca	N/m ³	18,164	18,182	18,398
	Saturación	%	100.0	100.0	100.0
	Relación de vacíos		0.460	0.400	0.440
Esfuerzo Efectivo Vertical Consolid.		kPa	100.0	199.8	399.7
Esfuerzo Cortante		kPa	149.3	334.1	625.4
Deformación en la Falla		%	15.0	15.0	15.0
Velocidad de Deformación		mm/min	0.01		
Gravedad Especifica Estimada			2.70		
Limite Liquido		%	18.20		
Limite Plástico		%	12.30		
Clasificación SUCS			GP GC		
Valor B			0.95	0.95	0.95

Observaciones:

Los parámetros de resistencia del suelo del presente informe, podrán ser reinterpretados en caso de ser considerado pertinente por un profesional especialista en geotecnia.
Densidad Seca = 1.83 gr/cm³ y Contenido de Humedad = 3.9 %, datos obtenidos del ensayo de cono de arena, según informe (17D1556-009-001).

Fotos



**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Jr. Los Lirios N° 530, Urb. San José, Lima 10, Perú
Tel: 719-6296 Cel. 990-601-511
informes@ingetest.com www.ingetest.com

**Ensayo de Compresión Triaxial
Consolidado - Drenado (CD)
(ASTM D 7181)**

Informe	17D7181-009-001	Fecha	28-Feb-17
Solicitante	Compañía Minera Antamina S.A.	Calicata	C-01
Proyecto	Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte	Muestra	-
Ubicación	U.M Antamina - Ancash	Prof. (m)	1.50

ESPECIMEN N° 01

Vertical Strain	Deviator Stress	Pore Pressure	Total Vertical Stress	Total Horizontal Stress	Effective Vertical Stress	Effective Horizontal Stress	Excess Pore Pressure	Effective p	q
%	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	Kpa
0.0	0.0	704.96	805.0	805.0	100.0	100.0	0.0	100.0	0.0
0.5	50.0	705.19	854.5	804.6	149.4	99.4	0.2	124.4	25.0
1.0	68.1	705.19	872.9	804.8	167.7	99.6	0.2	133.7	34.0
1.5	75.6	705.52	880.3	804.7	174.8	99.2	0.6	137.0	37.8
2.0	89.8	705.19	894.7	804.9	189.5	99.7	0.2	144.6	44.9
2.5	100.6	705.41	905.2	804.6	199.8	99.2	0.4	149.5	50.3
3.0	110.0	705.52	914.5	804.5	209.0	99.0	0.6	154.0	55.0
3.5	114.4	705.19	919.2	804.8	214.0	99.6	0.2	156.8	57.2
4.0	127.5	705.36	932.2	804.7	226.8	99.4	0.4	163.1	63.7
4.5	136.3	705.19	941.0	804.7	235.8	99.6	0.2	167.7	68.1
5.0	147.8	705.24	952.6	804.8	247.4	99.6	0.3	173.5	73.9
5.5	153.0	705.24	957.7	804.7	252.5	99.5	0.3	176.0	76.5
6.0	167.6	705.08	972.2	804.5	267.1	99.4	0.1	183.3	83.8
6.5	174.9	705.24	979.5	804.6	274.3	99.4	0.3	186.8	87.5
7.0	185.5	705.08	990.3	804.9	285.2	99.8	0.1	192.5	92.7
7.5	192.6	705.41	997.5	804.9	292.1	99.5	0.4	195.8	96.3
8.0	199.6	705.19	1004.3	804.6	299.1	99.4	0.2	199.3	99.8
8.5	206.9	705.02	1011.6	804.6	306.5	99.6	0.1	203.1	103.5
9.0	215.9	705.13	1020.6	804.7	315.5	99.6	0.2	207.5	108.0
9.5	226.5	705.24	1031.1	804.6	325.9	99.4	0.3	212.6	113.3
10.0	234.0	705.24	1039.0	805.1	333.8	99.8	0.3	216.8	117.0
10.5	241.5	705.02	1046.1	804.6	341.1	99.6	0.1	220.3	120.7
11.0	252.8	704.96	1057.8	805.0	352.8	100.0	0.0	226.4	126.4
11.5	257.4	705.24	1062.2	804.9	357.0	99.6	0.3	228.3	128.7
12.0	264.4	705.08	1069.3	804.9	364.2	99.8	0.1	232.0	132.2
12.5	271.1	705.08	1076.0	804.9	371.0	99.8	0.1	235.4	135.6
13.0	279.8	705.13	1084.7	804.9	379.5	99.8	0.2	239.7	139.9
13.5	282.0	705.13	1086.8	804.9	381.7	99.7	0.2	240.7	141.0
14.0	289.7	705.08	1094.4	804.7	389.3	99.7	0.1	244.5	144.8
14.5	289.8	704.91	1094.8	805.0	389.9	100.1	-0.1	245.0	144.9
15.0	298.6	705.02	1103.5	804.9	398.5	99.9	0.1	249.2	149.3

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Jr. Los Lirios N° 530 - Urb. San José, Lima 10 - Perú
Tel: 719-6297 Fax 718-6400 informes@ingetest.com
www.ingetest.com

**Ensayo de Carga Puntual
(ASTM D 5731)**

Informe	17D5731-009-001	Fecha	25-Feb-17
Solicitante	Compañía Minera Antamina S.A.	Zona	EG-01
Proyecto	Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte	Muestra	-
Ubicación	U.M Antamina - Ancash		

☐ Probetas Regulares ☒ Probetas Irregulares

Probeta N°	Tipo de Roca	Tipo de Ensayo	Geometría de la Muestra		Carga Máx. Aplicada	D_s^2	I_x	$I_{x(50)}$ Corregido	Compresión Uniaxial
			Altura	Diámetro					
			mm	mm	(kN)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1	-	i ⊥	68.0	36.0	10.83	1,296	8.36	7.21	173.00
2	-	i ⊥	78.0	37.5	10.66	1,406	7.58	6.66	159.84
3	-	i ⊥	72.0	38.0	10.33	1,444	7.15	6.32	151.74
4	-	i ⊥	60.0	40.0	10.60	1,600	6.63	5.99	143.81
5									

$I_{x(50)} \perp = 6.5 \text{ MPa}$
 $I_{x(50)} // = -$
 $I_{a(50)} = -$

d = diametral
a = axial
b = bloque
i = fragmento irregular
// = paralelo al plano de debilidad
⊥ = perpendicular

Observaciones:

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Jr. Los Lirios N° 530, Urb. San José, Lima 10, Perú
Telf. 719-6296 Cel. 990-601-511
informes@ingetest.com www.ingetest.com

**Ensayo de Corte Directo en Roca
(ASTM D 5607)**

Informe	17D5607-009-001	Fecha	27-Feb-17
Solicitante	Compañía Minera Antamina S.A.	Sondaje	EG-02
Proyecto	Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte	Muestra	-
Ubicación	U.M Antamina - Ancash	Profundidad	-

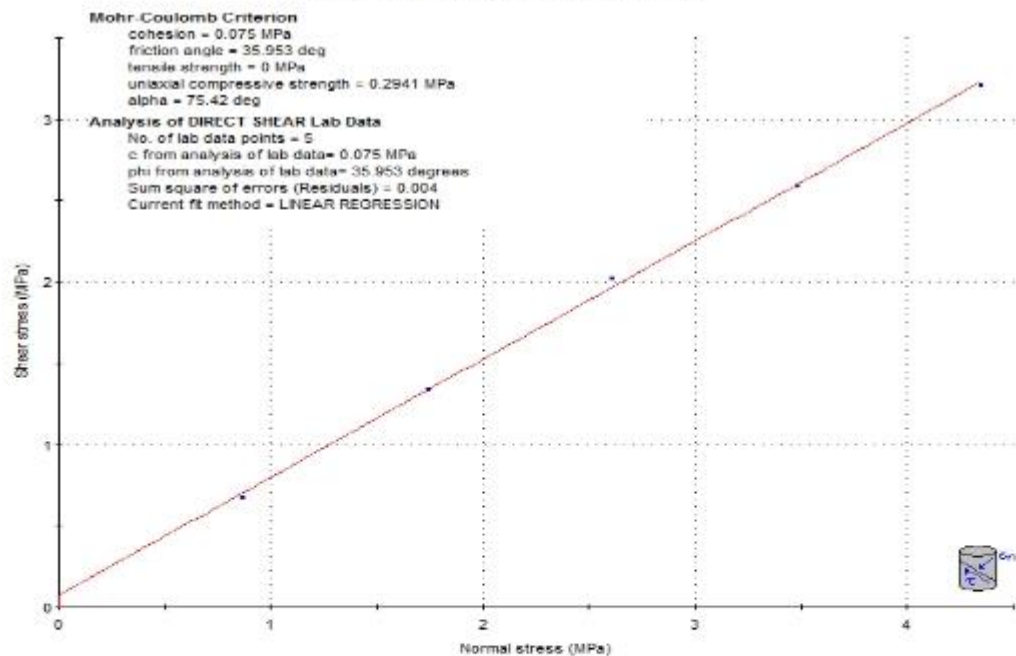
Parámetros del Ensayo

N° Ensayo	Diámetro	Esfuerzo Normal	Esfuerzo de Corte
		σ_N	τ
	cm	MPa	MPa
1	6.05	0.87	0.68
2	6.05	1.74	1.34
3	6.05	2.61	2.02
4	6.05	3.48	2.59
5	6.05	4.35	3.21

Resultados del Ensayo

Ángulo de Fricción	35.95 °
Cohesión	0.075 Mpa

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData



Observaciones:

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Jr. Los Lirios N° 530 - Urb. San José, Lima 10 - Perú
Tel: 719-6297 Fax 718-6400 informes@ingetest.com
www.ingetest.com

**Ensayo de Carga Puntual
(ASTM D 5731)**

Informe	17D5731-009-001	Fecha	25-Feb-17
Solicitante	Compañía Minera Antamina S.A.	Zona	EG-01
Proyecto	Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte	Muestra	-
Ubicación	U.M Antamina - Ancash		

☐ Probetas Regulares ☒ Probetas Irregulares

Probeta N°	Tipo de Roca	Tipo de Ensayo	Geometría de la Muestra		Carga Máx. Aplicada	D_a^2	I_x	$I_{x(50)}$ Corregido	Compresión Uniaxial
			Altura	Diámetro					
			mm	mm	(kN)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1	-	i ⊥	68.0	36.0	10.83	1,296	8.36	7.21	173.00
2	-	i ⊥	78.0	37.5	10.66	1,406	7.58	6.66	159.84
3	-	i ⊥	72.0	38.0	10.33	1,444	7.15	6.32	151.74
4	-	i ⊥	60.0	40.0	10.60	1,600	6.63	5.99	143.81
5									

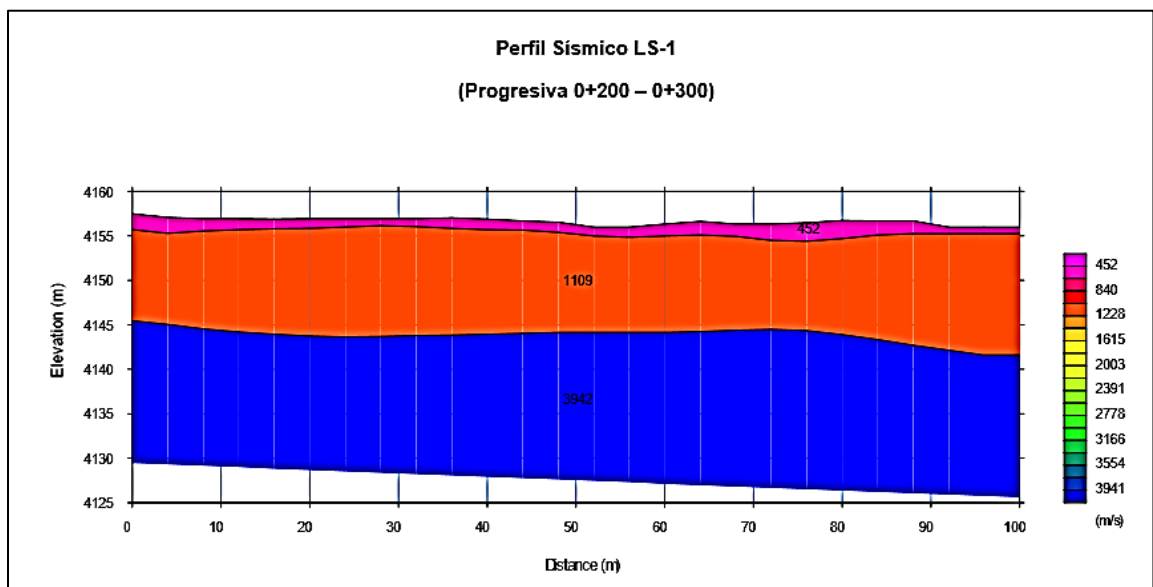
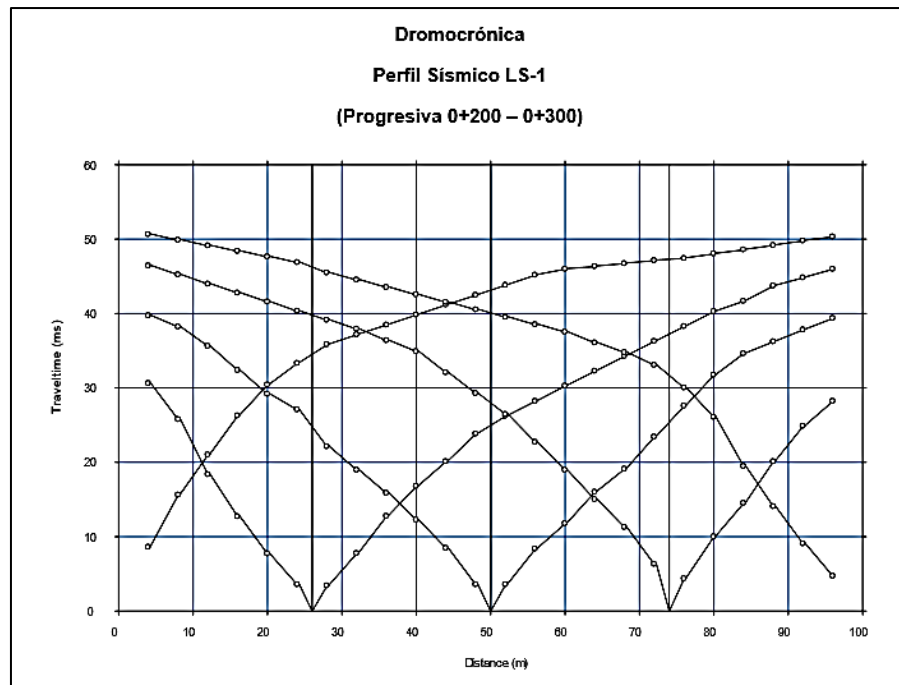
$I_{x(50)} \perp = 6.5 \text{ MPa}$
 $I_{x(50)} // = -$
 $I_{a(50)} = -$

d = diametral
a = axial
b = bloque
i = fragmento irregular
// = paralelo al plano de debilidad
⊥ = perpendicular

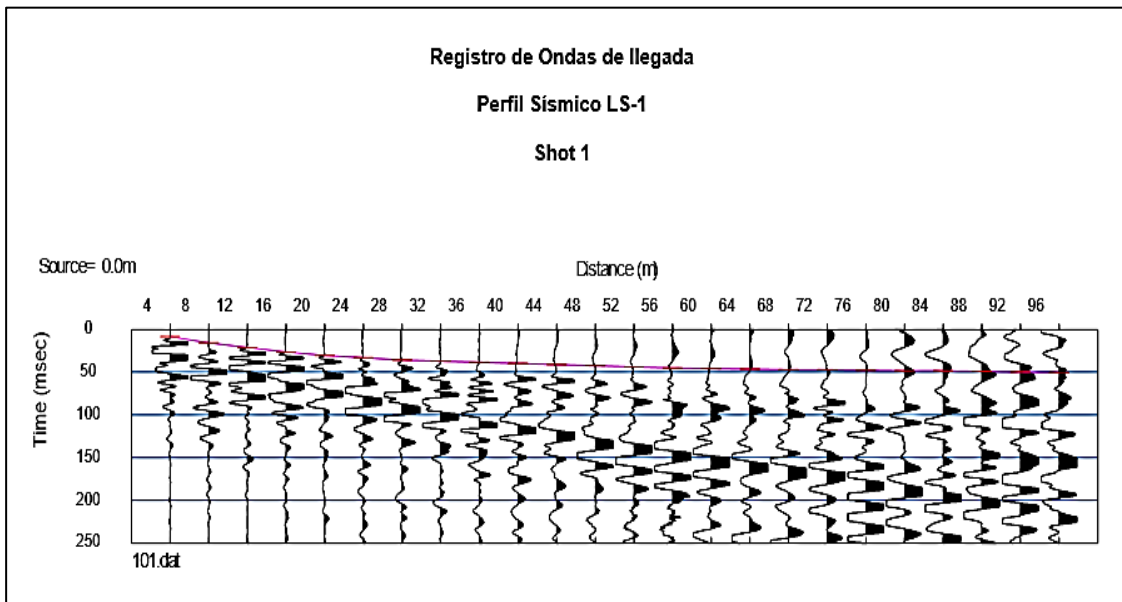
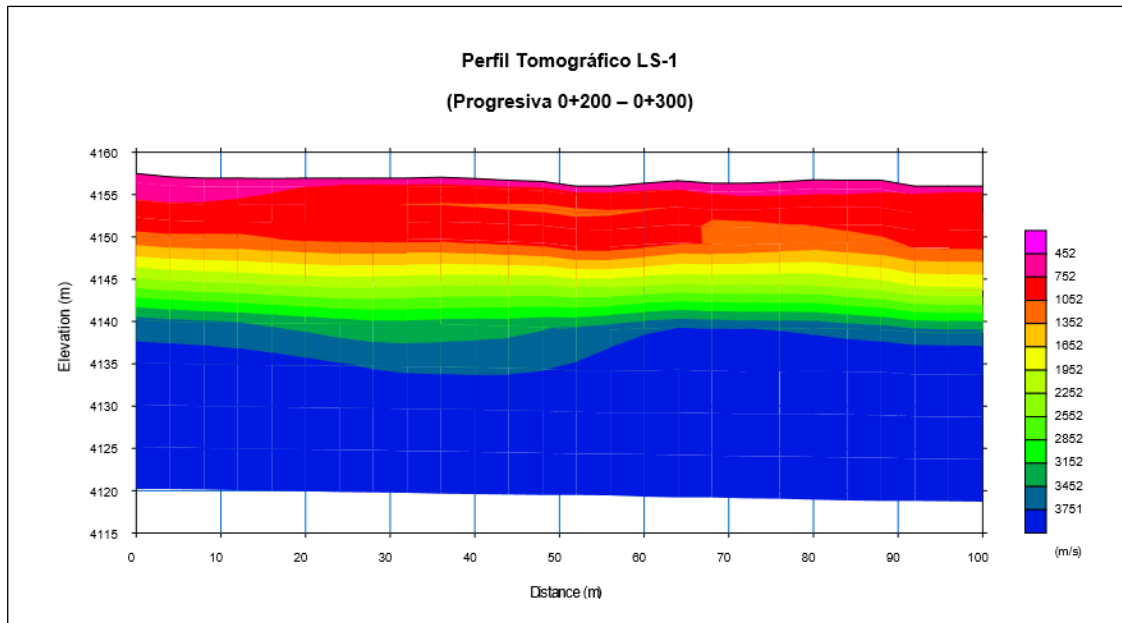
Observaciones:

Anexo G: Prospección Geofísica

“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”



**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



VALORACION DE LA RIPABILIDAD
CLASIFICACION DE RIPABILIDAD (WEAVER)

CODIGO DEL PROYECTO: SIG_17001_IF

FECHA : 09/03/2017

PROYECTO :

ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO PARA LA REUBICACION DE LA
LINEA DE DESCARGA NORTE

REALIZADO : R.A.Z

REVISADO : R.V.

UBICACIÓN : LINEA DE DESCARGA NORTE

Clase de roca	I	II	III	IV	V
Descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca media	Roca mala	Roca muy mala

1.- VELOCIDAD SISMICA (m/s)					1300.0
Rango de valores	>2150	2150-1850	1850-1500	1500-1200	1200-450
Puntaje	26	24	20	12	5
Valoración :					12

2.- DUREZA					Roca dura
Rango de valores	Roca extra dura	Roca muy dura	Roca dura	Roca blanda	Roca muy blanda
Puntaje	10	5	2	1	0
Valoración :					2

3.- ALTERACIÓN					Ligeramente sana
Rango de valores	Sana	Ligeramente sana	Alterada	Muy Alterada	Completamente Alterada
Puntaje	9	7	5	3	1
Valoración :					5

4.- ESPACIADO DE JUNTAS (mm)					
Rango de valores	>3000	3000-1000	1000-300	300-50	<50
Puntaje	30	25	20	10	5
Valoración :					10

5.- CONTINUIDAD DE JUNTAS					Continuas sin relleno
Condición	Discontinuas	Poco continuas	Continuas sin relleno	Continua con algo de relleno	Continua con relleno
Puntaje	5	5	3	0	0
Valoración :					3

6.- RELLENO DE LAS JUNTAS					5mm
Condición	Cerradas	Algo separadas	Separacion <1mm	Relleno <5mm	Relleno >5mm
Puntaje	5	5	4	3	1
Valoración :					3

7.- ORIENTACION DE DIRECCION Y BUZAMIENTO					Desfavorable
Condición	Muy desfavorable	Desfavorable	Poco favorable	Favorable	Muy desfavorable
Puntaje	15	13	10	5	3
Valoración :					13

					Valor de Ripabilidad
Valoración total	100-90	90-70*	70-50	50-25	<25
Valoración de la ripabilidad	Voladura	Ext. Difícil de repar Voladura	Muy Difícil de repar	Difícil de repar	Facilmente ripable
Selección de maquinaria	-	DD9G / D9G	D9 / D8	D8 / D7	D7
Potencia (CV)	-	770/385	385/270	270/180	180
kW	-	575/290	290/200	200/135	135

* La puntuación por encima de 75 se considera como no ripable sin prevoladura

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

Anexo H: Geomecánica

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA ANTAMINA, DISTRITO. DE SAN MARCOS,
PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

HOJA DE REGISTRO LINEAL

PROYECTO : "ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LINEA DE DESCARGA NORTE"
UBICACIÓN : SAN MARCOS - ANCASH
CLIENTE : COMPAÑIA MINERA ANTAMINA S.A

F.EJECUCION : ENERO 2017

IDENTIFICACIÓN : EG - 01 LITOLOGÍA : Caliza
NIVEL : - LONGITUD : 25 m
RQD : 96% REALIZADO POR : J.G.L

CONDICIÓN DE LA EXPOSICIÓN : ROCA FRACTURADA
ORIENTACIÓN DEL TALUD (BUZ/DIR. BUZ.) : 80°/43°
REVISADO POR :

COORDENADAS : E 275 755 N 8 943 227

DISCONTINUIDAD	DISTANCIA	ORIENT. DE LA DISCONT.		TIPO							PERSISTENCIA	ESPACIADO			ABERTURA		RELLENO		RUGOSIDAD		FORMA	METEORIZACIÓN		CONTENIDO DE AGUA				OBSERVACIONES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	Distancia a la intersección de la discont. (m)	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)	Junta (JV)	Falla (FT)	Vena (VN)	Shear Zone (SZ)	Estratificación (ED)	Foliación (FL)	Contacto (CT)	Dike (DK)	< 1	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	> 2 m	0.6 - 2 m	X	0.2 -0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m	Cerrada 0	Muy angosta < 0.1mm	Angosta 0.1 - 1.0 mm	Abierta 1.0 - 5.0 mm	Muy abierta > 5 mm		Ninguno	Duro < 5 mm	Duro > 5 mm	Blando < 5 mm	Blando > 5 mm	Superficie Pulida (SP)	Lisa (L)	Ligeramente rugosa (SR)	Rugosa (R)	Muy rugosa (VR)	Plana	Ondulada	Escalonada	No meteorizada (NM)	Ligeramente meteorizada (SM)	Moderadamente meteorizada (MM)	Altamente meteorizada (HM)	Completamente meteorizada (CM)	Completamente seca (CD)	Húmeda (DM)	Mojada (MT)	Goteo (GP)	Flujo (FW)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
J1	0.00 - 6.00	86	133	X									X					X							X					X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																</

“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA ANTAMINA, DISTRITO. DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”



DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**VALORACION DEL MACIZO ROCOSO
CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI - RMR**

PROYECTO : ESTUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LINEA DE DESCARGA NORTE
UBICACIÓN : EG-03 (Arenisca)

FECHA : 09/03/2017
REALIZADO : J.G.L.
REVISADO :

DETERMINACION DEL VALOR DE RMR (ROCK MASS RATING)

1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA (Ensayo de Carga Puntual)						46.0 Mpa
Rango de valores	> 250	100 - 250	60 - 100	25 - 60	5 - 25	1 - 5
Puntaje	16	12	7	4	2	1
Valoración :						4

2.- VALOR DE RQD (Rock Quality Index)						88 %
Rango de valores	90 - 100	75 - 90	60 - 75	45 - 60	< 45	
Puntaje	20	17	13	9	5	
Valoración :						16

3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES						0.15 m
Rango de valores	> 2	0.5 - 2	0.2 - 0.5	0.05 - 0.2	< 0.05	
Puntaje	20	16	10	5	0	
Valoración :						7

4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES						
Persistencia de las discontinuidades						4 m
Rango de valores	< 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	> 20	
Puntaje	0	4	2	1	0	
Valoración :						2

Separación (apertura)						1 mm
Rango de valores	Ninguno	< 0.1	0.1 - 1.0	1 - 5	> 5	
Puntaje	0	6	4	1	0	
Valoración :						1

Rugosidad						R
Condición	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Superficie pulida	
Puntaje	VR	R	SR	L	SK	
Valoración :						5

Releno						1 mm
Rango de valores	Ninguno	Duro < 6	Duro > 6	Blando < 6	Blando > 6	
Puntaje	0	4	2	2	0	
Valoración :						2

Meteorización						MW
Condición	No Intemperizada	Ligeramente Intemperizada	Moderadamente Intemperizada	Altamente Intemperizada	Completamente Intemperizada	
Puntaje	UW	SW	MW	HW	CW	
Valoración :						3

5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA						CD
Condición	Completamente seca	Húmeda	Mojada	Goteo	Flujo	
Puntaje	CD	DM	WT	DP	FW	
Valoración :						15

6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						FR
Orientaciones del rumbo y buzamiento	Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	
	VF	FV	FR	UF	VU	
Puntaje según el tipo de trabajo						
Túneles y minas (T)	0	-2	-6	-10	-12	
Cimentaciones (P)	0	-2	-7	-16	-26	
Taludes (S)	0	-6	-26	-60	-80	
Indique el tipo de trabajo						S
Valoración :						-25

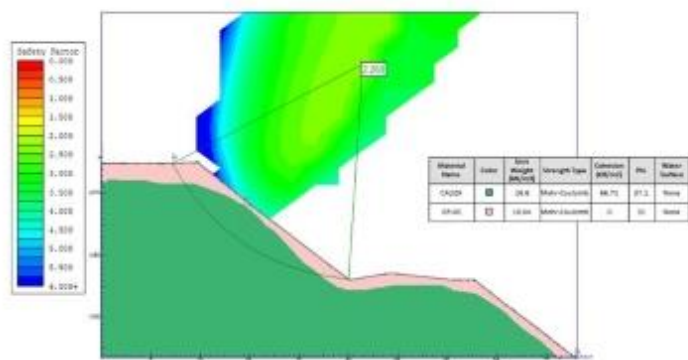
VALOR DE RMR	
RMR Básico	55
RMR Ajustado	30
RMR89 (condiciones secas y muy favorables)	55
Cohesión (c)	275 KPa
Angulo de fricción interna (°)	33°

Activar V

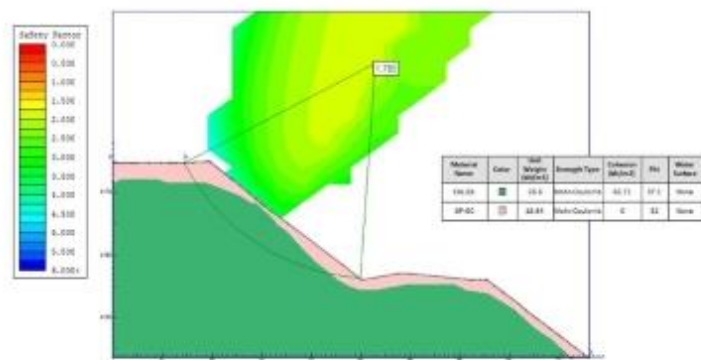
Anexo I: Análisis de Estabilidad

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

ESTADO INICIAL



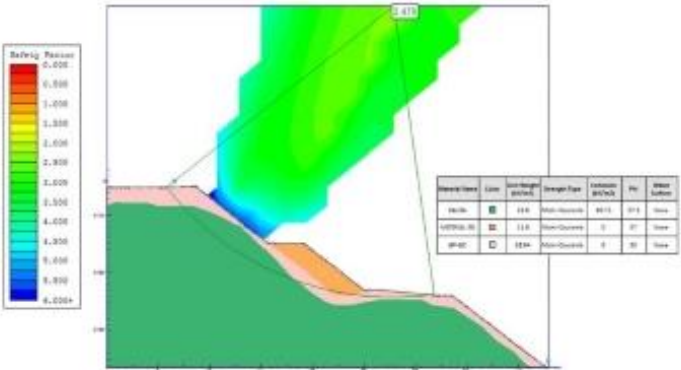
ANALISIS DE ESTABILIDAD – SECCIÓN N°1 – ANALISIS ESTATICO – FS:2.260



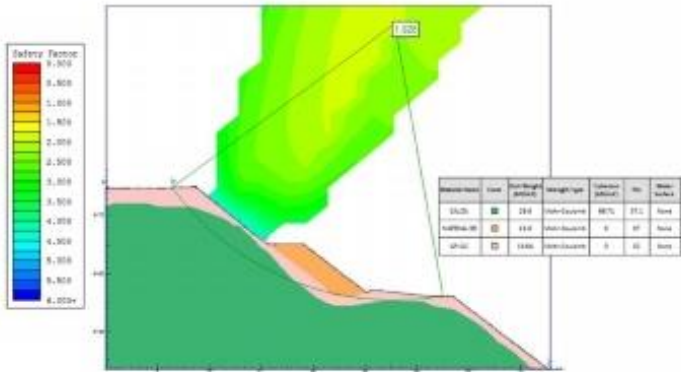
ANALISIS DE ESTABILIDAD – SECCIÓN N°1 – ANALISIS PSEUDO-ESTATICO – FS:1.785

“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”

ESTADO PROYECTADO



ANALISIS DE ESTABILIDAD – SECCIÓN N°1 – ANALISIS ESTATICO – FS:2.479



ANALISIS DE ESTABILIDAD – SECCIÓN N°1 – ANALISIS PSEUDO-ESTATICO – FS:1.828

Anexo J: Diseño de Cimentación

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



DISEÑO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN / MC-01

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN SUELO

PROYECTO : ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE
 CLIENTE : COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA S.A.
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE ANCASH
 FECHA : MARZO 2017

CRITERIO DE CÁLCULO

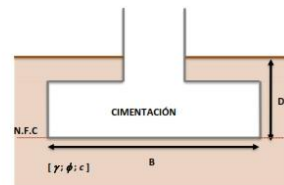
Terzaghi - Peck (1967) modificado por Vesic (1973) :

$$q_{ult} = S_c \cdot c \cdot N_c + 0.50 \cdot S_\gamma \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + S_q \cdot (\gamma \cdot D_f) \cdot N_q$$

$$q_{adm} = q_{ult} / FS$$

DATOS GENERALES

Material predominante de la fundación	Grava No Compacta (GP-GC)
Tipo de falla de la fundación	Falla por corte General
[ϕ] Ángulo de fricción del suelo	32.00 °
[c] Cohesión del suelo	0.00 ton/m ²
[γ] Peso unitario del suelo por encima del N.F.C.	1.90 ton/m ³
[γ] Peso unitario del suelo por debajo del N.F.C.	1.90 ton/m ³
Relación Ancho / Largo (B/L)	0.05
Factor de Seguridad (FS)	3.00
Carga de Servicio	20.00 ton/m ²



FACTORES INFLUYENTES

TIPO DE CIMENTACIÓN	FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA			FACTORES DE FORMA		
	Nc	N γ	Nq	Sc	S γ	Sq
CONTINUA	35.49	30.21	23.18	1.03	0.98	1.03
CUADRADA				1.65	0.6	1.62

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LA FUNDACIÓN

TIPO DE CIMENTACIÓN	D f			q adm		
	(m)	(m)	(kg/cm)	(kg/cm)	(kg/cm)	Quit > Qact
RECTANGULAR	1.00	1.00	7.35	2.45	2.00	Cumple
	1.20	1.00	8.26	2.75	2.00	Cumple
	1.50	1.00	9.62	3.21	2.00	Cumple
	2.00	1.00	11.90	3.97	2.00	Cumple
	1.00	1.50	8.76	2.92	2.00	Cumple
	1.20	1.50	9.67	3.22	2.00	Cumple
	1.50	1.50	11.03	3.68	2.00	Cumple
	2.00	1.50	13.30	4.43	2.00	Cumple
CUADRADA	1.00	1.00	8.88	2.96	2.00	Cumple
	1.20	1.00	10.31	3.44	2.00	Cumple
	1.50	1.00	12.48	4.15	2.00	Cumple
	2.00	1.00	16.03	5.34	2.00	Cumple
	1.00	1.50	9.74	3.25	2.00	Cumple
	1.20	1.50	11.17	3.72	2.00	Cumple
	1.50	1.50	13.32	4.44	2.00	Cumple
	2.00	1.50	16.89	5.63	2.00	Cumple

Donde:

Df : Nivel de desplante de cimentación.
 B : Ancho de cimentación.
 q ult : Capacidad de carga última.
 q adm : Capacidad de carga admisible.
 q act : Capacidad de carga actuante o de servicio.

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



DISEÑO GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN / MC-02

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN SUELO

PROYECTO : ESTUDIO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE
 CLIENTE : COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA S.A.
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE ANCASH
 FECHA : MARZO 2017

CRITERIO DE CÁLCULO

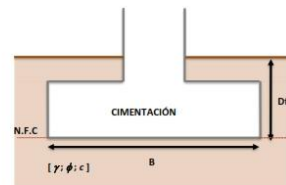
Terzaghi - Peck (1967) modificado por Vesic (1973) :

$$q_{ult} = S_c \cdot c \cdot N_c + 0.50 \cdot S_\gamma \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + S_q \cdot (\gamma \cdot D_f) \cdot N_q$$

$$q_{adm} = q_{ult} / FS$$

DATOS GENERALES

Material predominante de la fundación	Grava Arcillosa (GC)
Tipo de falla de la fundación	Falla por corte Local
[ϕ] Ángulo de fricción del suelo	30.00 °
[c] Cohesión del suelo	0.00 ton/m ²
[γ] Peso unitario del suelo por encima del N.F.C.	1.80 ton/m ³
[γ] Peso unitario del suelo por debajo del N.F.C.	1.80 ton/m ³
Relación Ancho / Largo (B/L)	0.05
Factor de Seguridad (FS)	3.00
Carga de Servicio	5.00 ton/m ²



FACTORES INFLUYENTES

TIPO DE CIMENTACIÓN	FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA			FACTORES DE FORMA		
	Nc	N γ	Nq	Sc	S γ	Sq
CONTINUA	15.87	6.24	7.11	1.02	0.98	1.02
CUADRADA				1.45	0.6	1.38

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LA FUNDACIÓN

TIPO DE CIMENTACIÓN	D f			q adm		
	(m)	(m)	(kg/cm)	(kg/cm)	(kg/cm)	Quit > Qact
RECTANGULAR	1.00	1.00	1.85	0.62	0.50	Cumple
	1.20	1.00	2.12	0.71	0.50	Cumple
	1.50	1.00	2.51	0.84	0.50	Cumple
	2.00	1.00	3.16	1.05	0.50	Cumple
	1.00	1.50	2.13	0.71	0.50	Cumple
	1.20	1.50	2.39	0.80	0.50	Cumple
	1.50	1.50	2.78	0.93	0.50	Cumple
	2.00	1.50	3.43	1.14	0.50	Cumple
	1.00	1.00	2.11	0.70	0.50	Cumple
	1.20	1.00	2.46	0.82	0.50	Cumple
CUADRADA	1.50	1.00	2.99	1.00	0.50	Cumple
	2.00	1.00	3.88	1.29	0.50	Cumple
	1.00	1.50	2.28	0.76	0.50	Cumple
	1.20	1.50	2.63	0.88	0.50	Cumple
	1.50	1.50	3.16	1.05	0.50	Cumple
	2.00	1.50	4.05	1.35	0.50	Cumple

Donde:

- Df : Nivel de desplante de cimentación.
- B : Ancho de cimentación.
- q ult : Capacidad de carga última.
- q adm : Capacidad de carga admisible.
- q act : Capacidad de carga actuante o de servicio.

Anexo K: Caracterización Química

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Jr. Los Lirios N° 530 - Urb. San José, Lima 10, Perú
Telf. 719-6296 Fax 719-6296
Informes@ingetest.com www.ingetest.com

Ensayos Químicos en Suelos

Informe	17EQUIM-009-002	Fecha	24-Feb-17
Solicitante	Compañía Minera Antamina S.A.		
Proyecto	Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte		
Ubicación	U.M.Antamina - Ancash		

Resultados de los Ensayos Químicos

Calicata	Muestra	Sales Solubles Totales S.S.T. NTP 339.152 ppm	Sulfatos Solubles SO ₄ NTP 339.178 ppm	Cloruros Solubles Cl NTP 339.177 ppm	pH ASTMD-4972
C-1	N-8	324.1	549.00	44.97	7.47
C-4	N-6	593.9	205.00	147.32	7.68
C-6	N-1	1025.8	216.00	169.03	7.76
C-8	N-10	1320.4	288.00	222.86	6.55
C-12	N-3	162.2	375.00	114.68	7.30
C-15	N-4	588.3	416.00	125.17	7.58
C-18	N-5	1259.5	257.00	163.22	7.54

Observaciones:

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Jr. Los Unidos N° 530 - Urb. San José, Lima 10, Perú
Tel: 719-0296 Fax 719-0296 RPM#099150
informes@ingetest.com www.ingetest.com

Ensayos Químicos en Rocas

Informe: 17EQUIM-009-002
Solicitante: Compañía Minera Antamina S.A.
Proyecto: Estudio Geológico Geotécnico para la Reubicación de la Línea de Descarga Norte
Ubicación: U.M. Antamina - Ancash

Fecha: 28-Feb-17

Resultados de los Ensayos Químicos

Parámetro	Método de Ensayo	Expresado	LD	Muestras		
				C-01	C-04	C-06
008 ANALISIS ABA - Paquete 02						
Azútre Total	NCM-141-SEMANART-2003	%	0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
pH en Pasta	EPA 9045D	-	-	7.78	7.95	7.3
Potencial de Acidez Máximo	NCM-141-SEMANART-2003	l CaCO ₃ /1000g	0.50	0.57	0.21	0.22
Potencial de Neutralización Neto	EPA 600/2-75-054	l CaCO ₃ /1000g	-	425	407	21
Potencial de Neutralización	EPA 600/2-75-054	l CaCO ₃ /1000g	-	425.65	407.04	20.01
Relación NPMPA	EPA 600/2-75-054/ NCM-141-SEMANART-2003	-	-	745.3	1906.6	92.6
Sulfato Lixiviable en HCL	ISO 11046	%S	0.01	16.28	21.64	14.27
Sulfuro	EPA 9030 B / EPA 9034	%S	0.01	< 0.02	< 0.02	< 0.02

Parámetro	Ref. Met.	Ref. Met.	LD	Muestras		
				C-08	C-12	C-15
008 ANALISIS ABA - Paquete 02						
Azútre Total	NCM-141-SEMANART-2003	%	0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
pH en Pasta	EPA 9045D	-	-	5.97	5.62	7.47
Potencial de Acidez Máximo	NCM-141-SEMANART-2003	l CaCO ₃ /1000g	0.50	0.30	0.39	0.43
Potencial de Neutralización Neto	EPA 600/2-75-054	l CaCO ₃ /1000g	-	3	4	346
Potencial de Neutralización	EPA 600/2-75-054	l CaCO ₃ /1000g	-	3.3	4.57	346.73
Relación NPMPA	EPA 600/2-75-054/ NCM-141-SEMANART-2003	-	-	11	11.7	600
Sulfato Lixiviable en HCL	ISO 11046	%S	0.01	13.16	15.02	29.63
Sulfuro	EPA 9030 B / EPA 9034	%S	0.01	< 0.02	< 0.02	< 0.02

Parámetro	Ref. Met.	Ref. Met.	LD	Muestras		
				C-18		
008 ANALISIS ABA - Paquete 02						
Azútre Total	NCM-141-SEMANART-2003	%	0.01	< 0.01		
pH en Pasta	EPA 9045D	-	-	7.54		
Potencial de Acidez Máximo	NCM-141-SEMANART-2003	l CaCO ₃ /1000g	0.50	0.27		
Potencial de Neutralización Neto	EPA 600/2-75-054	l CaCO ₃ /1000g	-	24		
Potencial de Neutralización	EPA 600/2-75-054	l CaCO ₃ /1000g	-	24.95		
Relación NPMPA	EPA 600/2-75-054/ NCM-141-SEMANART-2003	-	-	90.4		
Sulfato Lixiviable en HCL	ISO 11046	%S	0.01	13.41		
Sulfuro	EPA 9030 B / EPA 9034	%S	0.01	< 0.02		

Observaciones:

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**

Anexo L: Registro Fotográfico

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Foto 1.- Inspección diaria de Seguridad en actividades.



Foto 2.-Trabajos de excavación manual en calicata C-02

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Foto 3.- Ejecución de ensayo DPL-03



Foto 5.- Evaluación de Estaciones Geomecánicas

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Foto 6.- Recolección de datos geomecánicos



Foto 7.- Tendido de cables y geófonos

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Foto 8.- Ejecución de ensayo de refracción



Foto 9.- Toma de datos a través de sismógrafo

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



Foto 10.- Instalación de cables y geófonos.



**Foto 11.- Preparación de Ensayo
Compresión triaxial.**

**“ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA NORTE DE LA MINA
ANTAMINA, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DPTO. DE ANCASH”**



**Foto 12. Preparación de Ensayo de
compresión triaxial.**

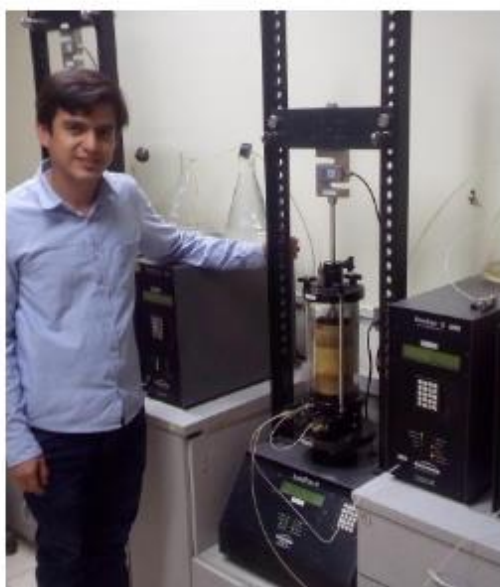


Foto 13. Preparación de ensayo Compresión triaxial.